

# 電氣設備計画設計技術指針

(高低圧編)

令和元年 9 月

## 凡 例

1. 内容はデータを豊富にし、説明には教科書的記述をさけ、簡潔明瞭に記述するよう努めた。
2. 外国の固有名詞のうち、周知のものは漢字・かたかな、その他は原語を用いた。周知の略字のある固有名詞は、略字を用いたものもある。
3. 単位は、国際単位系（略称SI）によるものとし、JIS Z 8203(2000)を採用した。
4. 量及び単位を表す記号はJIS Z 8202-0(2000)～JIS Z 8202-13(2000)を採用した。それ以外で周知の略字のある単位は、それを用いたものもある。
5. 図形シンボルは、主としてJIS C 0617-1(2011)～JIS C 0617-13(2011)（電気用図記号）を採用した。ただし、まだ制定されていないものは、なるべく一般に使用されているものを採用した（7.3項参照）。
6. 章、節、項の番号はポイントシステムにより、図、表番はそれぞれ各節において通し番号とした。
7. 文中参照箇所を示す数字は、章・節・項を表す。
8. 参考文献は巻末に記載した。記載方法は、慣用されている略号は、それに従ったが、それ以外は読み誤りのない程度に省略するようにした。
9. 登録商標名を記したものもあるが、その都度それが登録商標名であることを表示するのを省略した。また、機器などの価格比較を示した図あるいは表は、その一例に過ぎず、必ずしも標準を示すものではない。
10. 索引の配列は、アラビア数字、アルファベット、かな（清音・濁音・半濁音の順）、漢字の順に並べた。

量	単位の名称	単位記号	量記号	
角	度	ラジアン	r a d	$\alpha, \beta, \gamma, l, \theta, \phi$
長	さ	メートル	m	l
面	積	平方メートル	m <sup>2</sup>	A, S
体	積	立方メートル	m <sup>3</sup>	V, v
時	間	秒	s	t
角 速 度	度	ラジアン毎秒	r a d / s	$\omega$
速 度 , 速 さ	さ	メートル毎秒	m / s	u, v, $\omega, c$
加 速 度	度	メートル毎秒毎秒	m / s <sup>2</sup>	$\alpha$
周 波 数 , 振 動 数		ヘルツ	H z	f, $\nu$
回 転 数		回毎秒, 回毎分	s <sup>-1</sup> , m i n <sup>-1</sup>	n
質 量		キログラム, トン	k g, t	m
密 度 , 濃 度		キログラム毎立方メートル	k g / m <sup>3</sup>	$\rho$
運 動 量		キログラムメートル毎秒	k g · m / s	p
力		ニュートン	N	F
圧 力		パスカル	P a	P
仕 事 , エ ネ ル ギ ー		ジュール	J	A, W
仕 事 率 , 動 力		ワット	W	P
熱 力 学 温 度		ケルビン	K	T
セ ル シ ウ ス 温 度		度	°C	t
電 流		アンペア	A	I
電 気 量 , 電 荷		クーロン	C	Q
電 位 , 電 位 差 , 電 圧 , 起 電 力		ボルト	V	V, $\phi, \phi, U, E$
静 電 容 量 , キ ャ パ シ タ ン ス		ファラド	F	C
電 流 密 度		アンペア毎平方メートル	A / m <sup>2</sup>	J, S
電 気 抵 抗		オーム	$\Omega$	R
リ ア ク タ ン ス		オーム	$\Omega$	X
イ ン ピ ー ダ ン ス		オーム	$\Omega$	Z
抵 抗 率		オームメートル	$\Omega \cdot m$	p
導 電 率		ジーメンズ毎メートル	S / m	$\gamma, \sigma$
イ ン ダ ク タ ン ス		ヘンリー	H	L
有 効 電 力		ワット	W	P
無 効 電 力		ヴァール	v a r	Q, P q
皮 相 電 力		ボルトアンペア	V A	S, P s
電 力 量		ワットアワー	W h	W
力 率		(パーセント)	(%)	P f
蓄 電 池 容 量		アンペアアワー	A h	C
音 の 強 さ		ワット毎平方メートル	W / m <sup>2</sup>	f, J
音 圧 の レ ベ ル		デシベル	d B	

単 位 に 乗じる倍数	名 称	記 号	単 位 に 乗じる倍数	名 称	記 号
$10^{18}$	エクサ	E	$10^{-1}$	デシ	d
$10^{15}$	ペタ	P	$10^{-2}$	センチ	c
$10^{12}$	テラ	T	$10^{-3}$	ミリ	m
$10^9$	ギガ	G	$10^{-6}$	マイクロ	$\mu$
$10^6$	メガ	M	$10^{-9}$	ナノ	n
$10^3$	キロ	k	$10^{-12}$	ピコ	p
$10^2$	ヘクト	h	$10^{-15}$	フェムト	f
10	デカ	da	$10^{-18}$	アト	a

定数及び公式集

分類	定数及び式	
定数	真空中の光速	$2.997925 \times 10^8$ [m・s <sup>-1</sup> ]
	重力の加速度	9.80665 [m・s <sup>-2</sup> ]
	空気中の音の速度	331.45 [m・s <sup>-1</sup> ]
	真空の透磁率	$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ [H・m <sup>-1</sup> ]
	真空の誘電率	$\epsilon = 8.85416 \times 10^{-12}$ [F・m <sup>-1</sup> ]
	電子の電荷	$e = 1.60210 \times 10^{-19}$ [C]
数学公式	a x <sup>2</sup> + b x + c = 0 の根	
	$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	
	$a + (a+d) + (a+2d) + \dots + \{a + (n-1)d\} = \frac{n}{2} \{2a + (n-1)d\}$	
	$a + ar + ar^2 + \dots + ar^{n-1} = \frac{a(1-r^n)}{1-r}$	
	$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$	
	$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$	
	$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$	
	$\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \tan \beta}$	
	$\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} \{\cos(\alpha + \beta) - \cos(\alpha - \beta)\}$	
	$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} \{\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)\}$	
	$\sin \alpha \pm \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha \pm \beta}{2} \cos \frac{\alpha \mp \beta}{2}$	
	$A \sin \omega t + B \cos \omega t = \sqrt{A^2 + B^2} \sin(\omega t + \phi) \quad \phi = \tan^{-1} \frac{B}{A}$	

定数及び公式集

分類	定 数 及 び 式	
電 気 公 式	空気中の電荷に働く力	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad [\text{N}]$
	磁界中の電流に働く力	$F = I B L \quad [\text{N}]$
	平行電流に働く力	$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} \quad [\text{N}]$
	オームの法則	$I = \frac{E}{R}$
	抵抗の直列接続	$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
	抵抗の並列接続	$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$
	三相交流	$e_a = E_m \sin \omega t$
		$e_b = E_m \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right)$
		$e_c = E_m \sin \left( \omega t - \frac{4\pi}{3} \right)$
		$i_a + i_b + i_c = 0$
	三相交流回路の皮相電力	$S = \sqrt{3} E I \quad [\text{VA}]$
	有効電力	$P = \sqrt{3} E I \cos \theta \quad [\text{W}]$
	無効電力	$Q = \sqrt{3} E I \sin \theta \quad [\text{Var}]$
誘導電動機の同期回転数	$n_0 = \frac{120f}{p}$	
誘導電動機の回転数	$n = n_0 (1 - S)$	
変圧器の変圧比	$\frac{E_2}{E_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$	
変圧器の電圧変動率	$\epsilon = \frac{E_0 - E}{E} \times 100 \quad [\%]$	

# 目 次

## 第 1 章 総論

1.1 指針の目的と適用範囲	1-1
1.2 関係法規	1-1
1.3 用語の定義	1-2
1.4 計画・設計の留意事項	1-3

## 第 2 章 計画設計

2.1 計画設計の手順と作成図書	2-1
2.1.1 一般事項	2-1
2.1.2 設計手順	2-4
2.1.3 作成図書	2-6
2.2 設備容量の計画	2-10
2.2.1 負荷設備と負荷表の作成	2-10
2.2.2 契約種別	2-10
2.2.3 契約電力の算定	2-16
2.3 受電方式の決定	2-22
2.3.1 受電方式と受電電圧	2-22
2.3.2 受電地点の遮断容量	2-23
2.4 配電方式の決定	2-24
2.4.1 電動機電圧の選定	2-24
2.4.2 配電電圧と配電方式	2-25
2.5 力率改善	2-38
2.5.1 力率改善の目的と電気料金の割引制度	2-38
2.5.2 高圧受電の場合の力率改善	2-40
2.5.3 低圧受電の場合の力率改善	2-47
2.5.4 自動力率制御	2-48
2.6 高調波と対策	2-49
2.6.1 高調波の発生原理	2-49

2.6.2	高調波の機器に対する影響	2-51
2.6.3	高調波対策	2-52
2.6.4	高調波電流の計算方法	2-56
2.7	保護方式	2-60
2.7.1	受電設備の保護方式	2-63
2.7.2	負荷設備の保護方式	2-67
2.7.3	雷害対策	2-76
2.8	監視制御方式	2-82

## 第3章 機器の選定

3.1	電動機	3-1
3.1.1	電動機の種類と構造	3-1
3.1.2	誘導電動機の定格と特性	3-13
3.1.3	誘導電動機の始動方式	3-20
3.1.4	誘導電動機の世界制御方式	3-29
3.1.5	誘導電動機の選定要領	3-31
3.1.6	速度制御方式の選定要領	3-39
3.2	変圧器	3-42
3.2.1	変圧器の種類と構造	3-42
3.2.2	変圧器の分類	3-46
3.2.3	変圧器の定格と特性	3-50
3.2.4	変圧器の選定要領	3-60
3.2.5	変圧器の選定例	3-68
3.2.6	変圧器の標準仕様	3-73
3.3	配電盤	3-78
3.3.1	配電盤の概要	3-78
3.3.2	配電盤の分類	3-79
3.3.3	配電盤取付機器	3-96
3.3.4	配電盤の構成と選定	3-109
3.3.5	配電盤の寸法	3-146
3.4	非常用発電装置	3-150
3.4.1	非常用発電装置の必要性	3-150
3.4.2	非常用発電装置の構成	3-150
3.4.3	非常用発電装置の選定	3-173

3.5	直流電源装置	3-194
3.5.1	直流電源装置の必要性	3-194
3.5.2	直流電源装置の構成	3-196
3.5.3	蓄電池の種類と構造	3-196
3.5.4	蓄電池の充電	3-204
3.5.5	蓄電池の選定	3-205
3.5.6	蓄電池の容量算出	3-207
3.5.7	充電器の選定	3-211

## 第4章 機器の据付及び配線

4.1	施工設計	4-1
4.1.1	設計手順	4-1
4.1.2	電気設備の配置	4-7
4.1.3	電線路・配線の種類と選定	4-9
4.2	機器の配置と据付	4-15
4.2.1	配電盤類の配置計画	4-15
4.2.2	非常用発電装置の配置計画	4-21
4.3	ケーブルと電線の選定	4-27
4.3.1	ケーブルと電線の用途と種類	4-27
4.3.2	ケーブルサイズの選定	4-34
4.3.3	ケーブル心数	4-52
4.4	電線路の施工	4-58
4.4.1	引入口工事及び架空電線路工事	4-58
4.4.2	地中電線路工事	4-67
4.4.3	ケーブルピット工事	4-83
4.4.4	電線管工事	4-90
4.4.5	ケーブルダクト工事	4-103
4.4.6	ケーブルラック工事	4-112
4.4.7	防爆電気工事	4-121
4.4.8	延焼防止工事	4-122
4.4.9	電線、ケーブル布設	4-123
4.5	接地工事	4-125
4.5.1	接地工事の種類と接地抵抗値	4-125

4.5.2	接地工事種類の選定	4-126
4.5.3	接地極の種類と施工方法	4-130
4.5.4	接地方法と接地場所の選定	4-139
4.5.5	接地極の選定	4-140
4.5.6	接地線の選定	4-142
4.6	耐震設計	4-144
4.6.1	耐震設計の考え方	4-144
4.6.2	耐震設計・施工に関する指針	4-144
4.6.3	地震力の算定	4-146
4.6.4	耐震設計の例	4-149
4.6.5	耐震設計の留意事項	4-160
4.7	浸水対策	4-165
4.8	施工管理	4-166
4.8.1	工程管理	4-166
4.8.2	出来形管理	4-167
4.8.3	品質管理	4-167
4.8.4	安全管理	4-168
4.8.5	法令、条例等の適用	4-168
4.8.6	試験(自主検査)	4-171

## 第5章 計画例

5.1	用水ポンプ場(高圧受電)	5-1
5.2	排水ポンプ場(低圧受電)	5-18

## 第6章 電気設備の保全

6.1	保全の基本的な考え方	6-1
6.2	機能診断調査	6-2
6.3	電気設備保全計画	6-5
6.3.1	保全の形態	6-5
6.3.2	保全計画の手順	6-5
6.3.3	保全実施計画検討の手順と留意点	6-7
6.4	電気設備の点検・整備	6-11
6.4.1	点検・整備	6-11
6.4.2	点検の種類	6-11
6.5	更新工事の参考例	6-12

## 第7章 参考資料

7.1 法令等による規制及び諸官庁手続	7-1
7.1.1 電気事業法令に基づく規制	7-1
7.1.2 経済産業局関係手続	7-13
7.1.3 電力会社等への手続	7-18
7.1.4 電力会社の電圧降下対策	7-33
7.1.5 消防法令に基づく手続	7-38
7.1.6 騒音規制法に基づく手続	7-48
7.1.7 大気汚染防止法に基づく手続	7-52
7.1.8 PCB含有電気機器の取り扱い	7-54
7.1.9 アスベスト含有機器の取り扱い	7-60
7.2 規格	7-61
7.3 文字記号・図記号と制御器具番号	7-62
7.3.1 文字記号及び図記号	7-62
7.3.2 制御器具番号	7-68
7.3.3 電線ケーブル略記号	7-74
7.3.4 計装フローシート用記号例	7-76
7.4 変圧器の特性	7-78
7.4.1 配線用6kV モールド変圧器	7-78
7.5 誘導電動機の特性	7-83
7.6 電線・ケーブルの特性	7-89
7.7 電線路工事材料	7-92
7.7.1 引入口及び架空電線路工事材料	7-92
7.7.2 地中電線路工事材料	7-94
7.7.3 ケーブルピット工事材料	7-99
7.7.4 ケーブル電線管工事材料	7-101
7.7.5 ケーブルダクト工事材料	7-108
7.7.6 ケーブルラック工事材料	7-111

## 付録

電気設備(高低圧編)に関する用語集	付-1
電気基礎	付-22

## 参考文献

# 第1章 総論

## 1.1 指針の目的と適用範囲

### 1.1.1 目的

この技術指針は、農業農村整備事業で造成する電気設備<sup>※1</sup>の計画及び設計に当たって、農業水利分野で多用される高低圧受変電設備を中心に、計画・設計から、施工・管理に亘った広範な電気関係実務の指針となることを目的に、参考となる事項を示すものである。

### 1.1.2 適用範囲

この技術指針は、農業農村整備事業で造成する、ダム、頭首工、用水機場、排水機場等において単独で設置される高低圧電気設備について適用するが、水力、太陽光、風力等の発電所の電気設備及び工事用電気設備については適用しない。

電気設備の計画設計に当たっては、土地改良事業計画設計基準（ダム、頭首工、ポンプ場編等）及び電気事業法等の関係法規を遵守するほか、この技術指針を参照するものとする。

## 1.2 関係法規

電気設備の計画設計に当たっては、電気事業法等の関係法規を遵守しなければならない。関係する主な法律を表 1.2-1 に示す。関係法規の詳細については第7章 参考資料を参照されたい。

表 1.2-1 電気に関する主な法律

区分	法 律 名 称	公 布
法律	電気事業法	昭和 39 年 7 月 11 日
	電気用品安全法	昭和 36 年 11 月 16 日
	電気工事士法	昭和 35 年 8 月 1 日
	電気工事業の業務の適正化に関する法律	昭和 45 年 5 月 23 日
	大気汚染防止法	昭和 43 年 6 月 10 日
	騒音規制法	昭和 43 年 6 月 10 日
	振動規制法	昭和 51 年 6 月 10 日
	水質汚濁防止法	昭和 45 年 12 月 25 日
	エネルギーの使用の合理化等に関する法律	昭和 54 年 6 月 22 日
	建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律(建設リサイクル法)	平成 12 年 5 月 31 日
	国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律(グリーン購入法)	平成 12 年 5 月 31 日
	景観法	平成 16 年 6 月 18 日
	廃棄物の処理及び清掃に関する法律	昭和 45 年 12 月 25 日
	ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法	平成 13 年 6 月 22 日
	公共工事の品質確保の促進に関する法律	平成 17 年 3 月 31 日

※1 この指針では、「電気設備」とは、高圧又は低圧で受電し、負荷設備へ配電する電気機械器具一般を総称して用いることとした。

### 1.3 用語の定義

(1) この指針では、「計画」、「設計」の用語の取り扱いについて表 1.3-1 のとおり定義する。

一般に、電気設備の「計画」及び「設計」は、一体的に行われる場合が多いため、この指針においても区分せずに「計画・設計」と用いる場合もある。

表 1.3-1 用語の定義 (1)

用語	定義	備考
計画	ダム、頭首工、揚水機場、排水機場等の農業水利施設（機械設備）の設計段階において付帯する電気設備の概略設計の立案（概略負荷表の作成、運転、制御、監視方式の概要決定等）段階。	
設計	計画に基づいて、電気設備の受電方式、配電方式、機器仕様決定、単線接続図の作成等の詳細設計段階。	

(2) 電気設備に関する主な用語の法令上の定義を表 1.3-2 に示す。

表 1.3-2 用語の定義 (2)

用語	定義	備考
電気工作物	発電、変電、送電若しくは配電又は電気の使用のために設置する機械、器具、ダム、水路、貯水池、電線路その他の工作物（船舶、車両又は航空機に設置されるものその他の政令で定めるものを除く。）をいう。	電気事業法第二条第1項十八
一般用電気工作物	一 他の者から経済産業省令で定める電圧以下の電圧で受電し、その受電の場所と同一の構内においてその受電に係る電気を使用するための電気工作物（これと同一の構内に、かつ、電氣的に接続して設置する小出力発電設備を含む。）であって、その受電のための電線路以外の電線路によりその構内以外の場所にある電気工作物と電氣的に接続されていないもの。 二 構内に設置する小出力発電設備（これと同一の構内に、かつ、電氣的に接続して設置する電気を使用するための電気工作物を含む。）であって、その発電に係る電気を前号の経済産業省令で定める電圧以下の電圧で他の者がその構内において受電するための電線路以外の電線路によりその構内以外の場所にある電気工作物と電氣的に接続されていないもの。 三 前二号に掲げるものに準ずるものとして経済産業省令で定めるもの。	電気事業法第三十八条第1項
事業用電気工作物	一般用電気工作物以外の電気工作物をいう。	電気事業法第三十八条第3項
自家用電気工作物	電気事業の用に供する電気工作物及び一般用電気工作物以外の電気工作物をいう。	電気事業法第三十八条第4項
低圧	直流にあつては750V以下、交流にあつては600V以下のもの。	電気設備に関する技術基準を定める省令第二条の第1項の一
高圧	直流にあつては750Vを、交流にあつては600Vを超え、7000V以下のもの。	電気設備に関する技術基準を定める省令第二条第1項の二
特別高圧	7000Vを超えるもの。	電気設備に関する技術基準を定める省令第二条第1項の三

## 1.4 計画・設計の留意事項

### 1.4.1 農業水利施設における電気設備の特徴

農業水利施設に用いられる電気設備は、一般に次のような特徴がある。

- (1) 工場等の民生部門に比べて一般に年間を通じて使用時間が短い。
- (2) 季節的あるいは時間的な負荷の変動幅が広く、かつ、その変化が不規則な場合が多い。
- (3) 安全性、確実性が重要視され、信頼性の高い機器が要求される。
- (4) 施設が広域に点在し、屋外での使用が要求される場合がある。

### 1.4.2 電気設備計画・設計上の留意点

前項のような農業水利施設における電気設備の特徴や電気の利用形態等を踏まえて、電気設備の計画設計に当たっては次のような点に留意する必要がある。

#### (1) 信頼性、安全性の確保

設備の使用目的、重要度に応じて、一部機能の停止が全体機能の停止とならないよう適切なバックアップ方式を採用する。また、感電・火災等の人命・財産に係わる事故の防止対策を講じるとともに、他の需要家設備に対しての波及事故防止対策についても考慮する。

更に、地震に対する電気機器及び据付けに関しては、土木・建築構造と調和のとれた耐震設計を考慮することが必要である。なお、その他の自然災害等に対する対策についても考慮する。

#### (2) 監視・操作性の向上

監視・操作機器は、オペレータに的確な情報を提供するための適切な計器類を配置するとともに、操作性の高い単純化された操作系統を採用し、操作機器には誤操作の防止対策を講じる。

#### (3) 保守の容易性

設備構成は、保守が容易で単純な構成とし、その構成機器は耐久性、交換部品等の互換性、入手の容易性についても考慮する。また、高効率機器の採用等による維持管理を考慮した計画設計とする。

#### (4) 経済性と効果

設備の使用目的、重要度を総合的に勘案して効果に見合った経済性の評価をする。この場合、建設費、維持管理費を含めたトータルコストにより経済性を評価する。

#### (5) 環境、施工

特に、屋外機器については高温多湿、寒冷、塵埃、塩分等の気候や地域特性等の環境に配慮し、必要に応じてステンレス材等の耐環境性に優れたものを選定する。また、施工に当たっては、機器の搬出入、据付け、配線ルート等について無理のない計画とする。

なお、電気設備機器は、土木・建築構造物や機械設備に比べて、耐用年数が短いため、設備単位で数回更新される事を考慮した計画設計とする。

## 第2章 計画設計

### 2.1 計画設計の手順と作成図書

#### 2.1.1 一般事項

##### (1) 電気設備の計画設計

電気設備は、ダム、頭首工、ポンプ場等の施設を構成する一部分であり、主となる機械設備の付帯設備として構成される。電気設備の設計と機械設備の設計の関係を図 2.1-1 に示す。

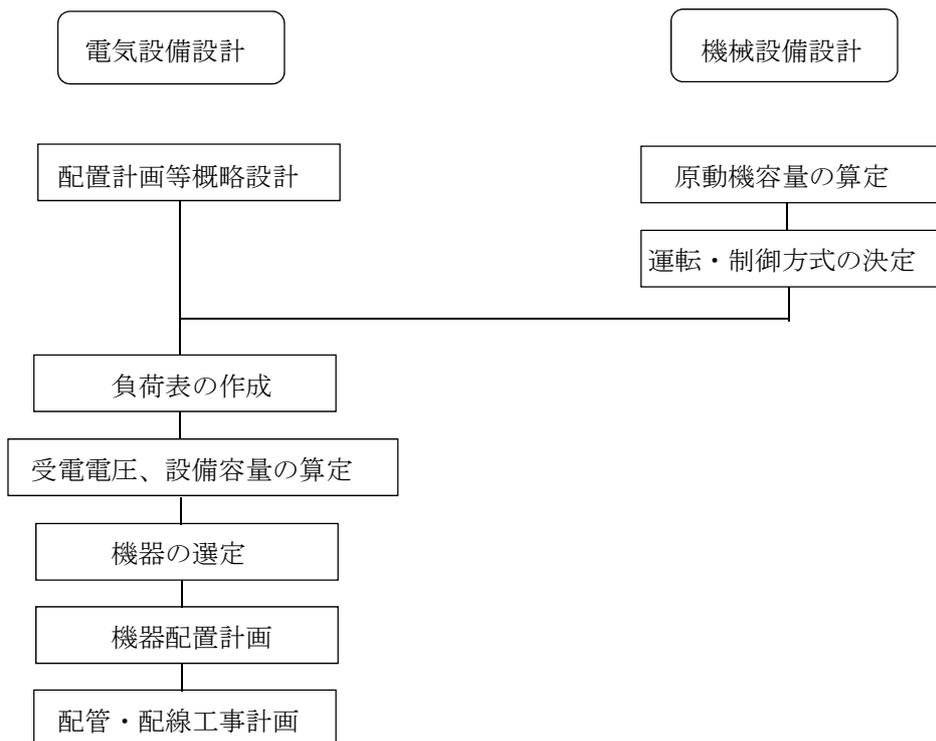
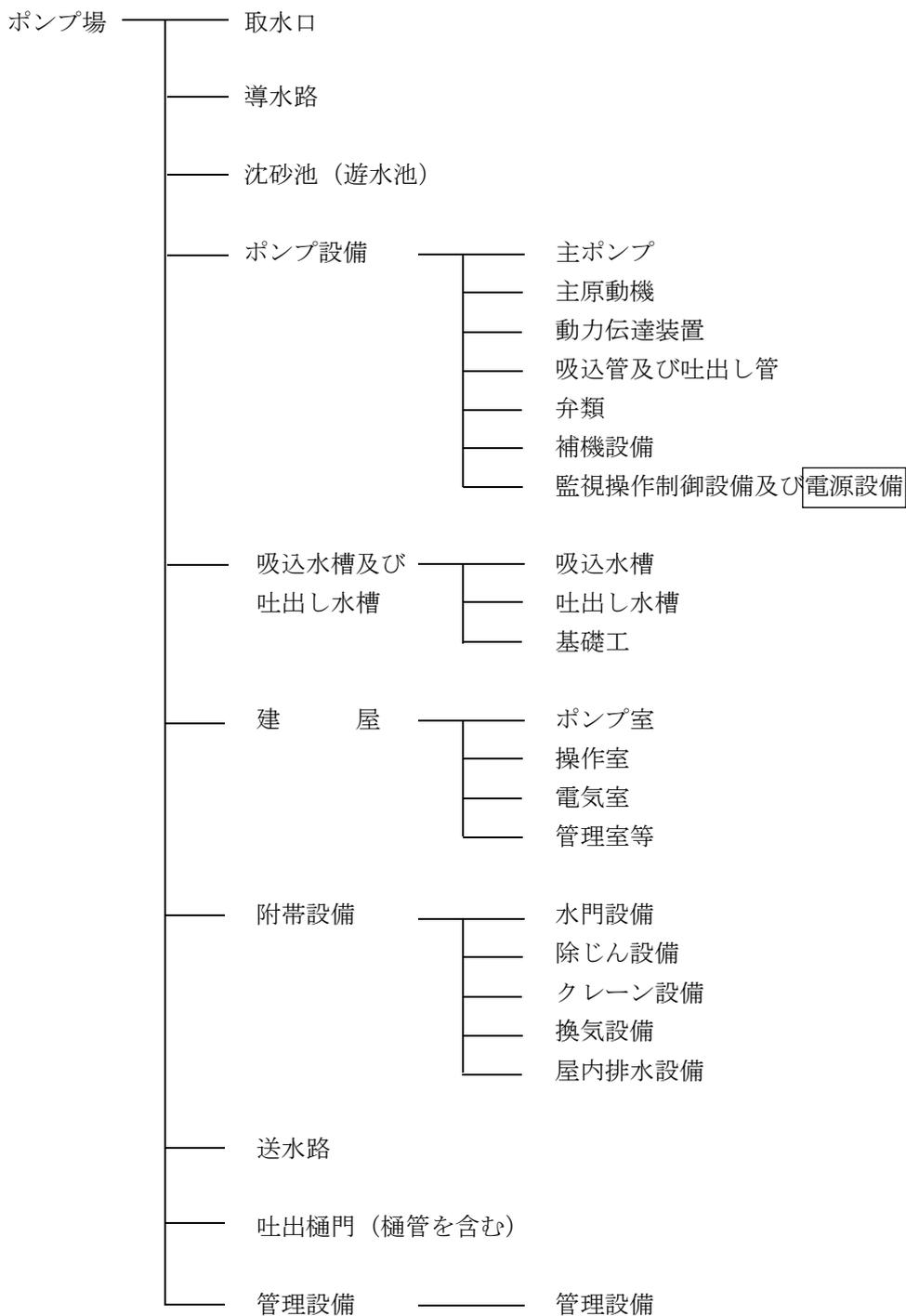


図 2.1-1 機械設備設計と電気設備設計の関係図

##### (2) 農業水利施設における電気設備の位置付け

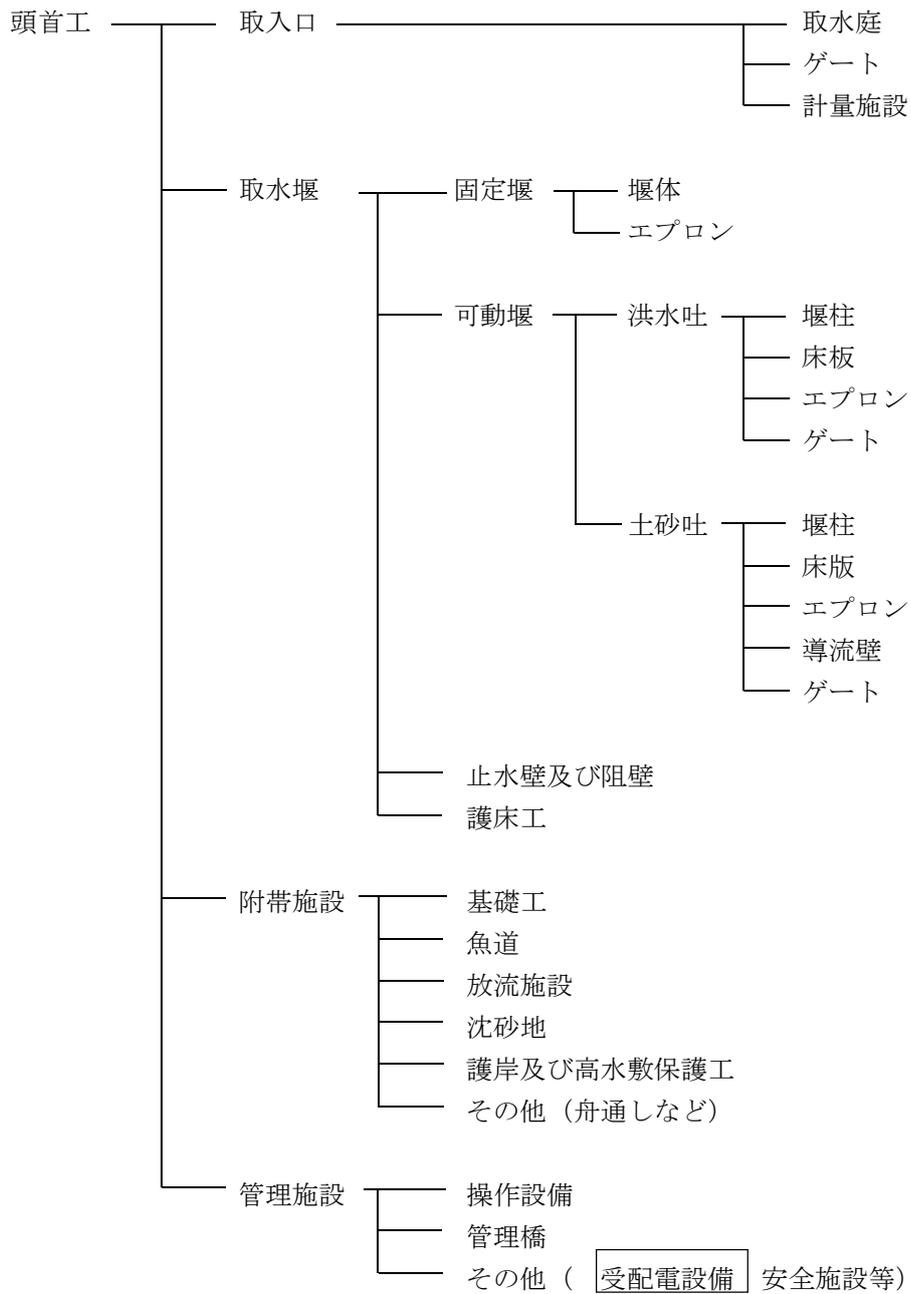
農業水利施設における電気設備の位置付けをポンプ場、頭首工を例に図 2.1-2、図 2.1-3 に示す。

電気設備は、ポンプ設備やその他機械設備と一体となって機能を発揮することから、互いの役割分担を明確にし、調和のとれた施設とする必要がある。



※   は電気設備を示す

図 2.1-2 ポンプ場における電気設備の位置付け



※   は電気設備を示す

図 2.1-3 頭首工における電気設備の位置付け

(3) 電気設備の基本構成

電気設備の基本構成は、電力会社から電力を受電し、負荷に応じた電圧へ変圧するための受変電設備、負荷設備へ電力を供給するための配電設備・動力設備及び運転操作のための設備などからなる。更に停電による施設の停止が許されない場合などでは非常用発電装置、直流電源装置などが必要となる。

これら設備の関係を図 2.1-4 に示す。

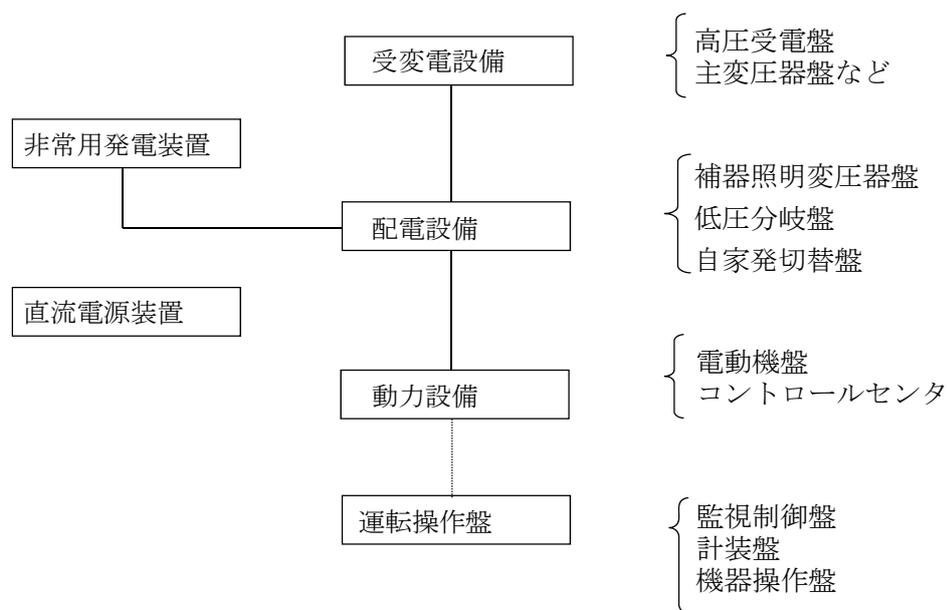


図 2.1-4 電気設備の基本構成

2.1.2 設計手順

電気設備の設計に当たっては農業水利施設の諸元、機械設備の仕様、全体配置図、設置環境などの基本条件を明確にしたうえで、表 2.1-1 に示す設計手順と検討内容にしたがって行う。

表 2.1-1 設計手順と検討項目

	設計検討項目	検討内容
基本設計	施設の基本条件	水利施設の諸元、機械設備の仕様 全体配置図、設置環境  負荷の運転、制御、監視方式  契約電力、受電方式、受電電圧、盤構成
	運転操作方式の決定	
	電気設備仕様の概定	
	電気設備の概略配置	

(次ページへ続く)

表 2.1-1 設計手順と検討項目(続き)

	設計検討項目	検討内容
詳細設計	(2.2項) 契約種別と契約電力の決定	負荷表の作成、契約種別の決定、契約電力の算定
	(2.3項) 受電方式の決定	受電方式、短絡容量
	(2.3項) 受電電圧の決定	高圧受電、高圧+低圧受電、低圧受電
	(2.4項) 配電方式の決定	電動機電圧、補機電圧、変圧器バンク構成、母線構成
	(2.5項) 力率改善方式の決定	進相コンデンサの設置方法、容量計算
	(2.6項) 高調波対策の決定	対策方法、高調波流出電流計算
	(2.7項) 保護方式の決定	受電・負荷設備の保護方式 耐雷、避雷設備
	(3.1項) 誘導電動機の選定	形式、始動方式、速度制御方式
	(3.2項) 変圧器の選定	形式、容量計算
	(3.3項) 配電盤の選定	引込・受電盤、変圧器盤、高圧動力盤、低圧盤
(3.4項) 非常用発電装置の選定	原動機機関選定、発電機・原動機容量 燃料、冷却、吸排気系統、騒音対策、 関連法規(消防、環境)	
(3.5項) 直流電源装置の選定	蓄電池選定、容量計算	
(4.1~4.6項) 据付及び配線の設計	配置、電線路、接地、耐震等	

### 2.1.3 作成図書

電気設備の設計に当たって作成する各種検討資料(以下「設計図書」という。)の一覧を表2.1-2に示す。設計図書のうち、単線結線図<sup>※1</sup>、計装フロー図は次の事項にしたがって作成する。なお、計装フロー図は計装設備<sup>※2</sup>が多く計装盤を設ける場合に作成する。

#### (1) 単線結線図

単線結線図は電気系統の主回路を主体に主要電気機器を JIS C 0617-1~13(2011) (:電気用図記号) に定める単線図用記号で表し、その相互の接続関係を単一の実線で表す。

また、JIS C 1082-1~4(1999) (:電気技術文書)の文字記号、JEM 1090(2008) (:制御器具番号)の制御器具番号、機器の主要定格記事、機器の個数などを必要に応じて記入する。

なお、単線結線図に用いる略号、文字記号、制御器具番号については第7章参考資料7.3.1~2項を参照すること。

#### (2) 計装フロー図

計装フロー図は、農業水利施設の計測、制御の流れを表したもので、一般にフローシートとも呼ばれる。計測制御信号は国際的な標準統一電気信号を用いる。現場の検出器と監視室との距離が長い場合は、ノイズの影響を受けにくいDC 4~20mAの電流信号が適用され、監視室内の各計器、CPU、コントローラ、シーケンサへの受渡しはDC 1~5Vが適用される場合もある。

計装フロー図の例を図2.1-6に示す。フロー図に用いる記号(JIS Z 8204(1983):計装用記号)の一部は第7章参考資料7.3.4項を参照すること。

なお計装の表示部は記号で表示し、この基本表示は次のように行われる。

基本表示→ 

変量記号
------

 + 

機能記号
------

例1 L I : レベル指示

例2 F R Q : 流量記録積算

※1 JEM 1115(2010) (配電盤・制御盤・制御装置の用語及び文字記号) では、単線結線図を次のように定義している。「電気機器全般の系統と電氣的接続関係の構成を、簡単に単線で示した接続図」としてSingle Line Diagram, One Line Diagram, Skeleton Diagramなど色々な呼び方がある。

※2 水位、水量、位置等の物理量の計測装置及びこれらの測定結果を用いて水位制御や流量制御等を行う制御装置を総称して計装設備 (Instrumentation) という。例えば、検出器、変換器、指示計、調節計、記録計などである。

表 2.1-2 設計図書

作成資料		作業内容及び作業目的	備考
検討資料	受変電設備設計	負荷表の作成、契約電力・受電方式・受電電圧・配電方式・力率改善方式・高調波対策方式・保護方式・電圧降下対策の決定及び容量計算を行う。	
	電動機の選定	誘導電動機の始動方式、速度制御方式の決定を行う。	
	変圧器設計	変圧器種別検討、変圧器容量計算を行う。	
	配電盤設計	配電盤構成の決定を行う。	
	非常用発電設備設計	機関選定、負荷表作成、容量計算、騒音検討を行う。	
	直流電源設備設計	蓄電池の選定、容量計算を行う。	
機器図	単線結線図	高圧受配電、低圧動力回路、直流電源装置、無停電電源装置などの単線結線図を作成する。各種申請用にも使用される。	
	配電盤外形図	各種配電盤の外形図を作成する。	
	計装フロー図	計測、制御の流れ図を作成する。	必要な場合に作成する。
工事図	構内図	構内全体を描画し、各設備の位置関係が把握できるものを作成する。	
	配線図	平面図、断面図に記述し、配線・配管などのルートや配線配管材料種別が把握できるものを作成する。	
	盤類等の据付図 (基礎ボルト含む)	盤の据付ベースがわかるものを作成する。	
	配置図	電気室、監視室などの機器配置が把握できるものを作成する。	
	接地系統図	接地種別及び系統が把握できるものを作成する。必要に応じて配線図に含める場合もある。	
	発電機フロー図	燃料配管、給排気、水配管などが把握できるものを作成する。必要に応じて配置図に含める場合もある。	
数量計算書	拾い出し表	工事材料の拾い出しと積算を行う。	
	補助資料	ピット図、基礎図など数量計算の裏付け資料を作成する。	
特別仕様書		各機器の仕様、操作方式などを仕様書に示す。	
概算工事費		機器及び据付配線の概算工事費を算出する。	

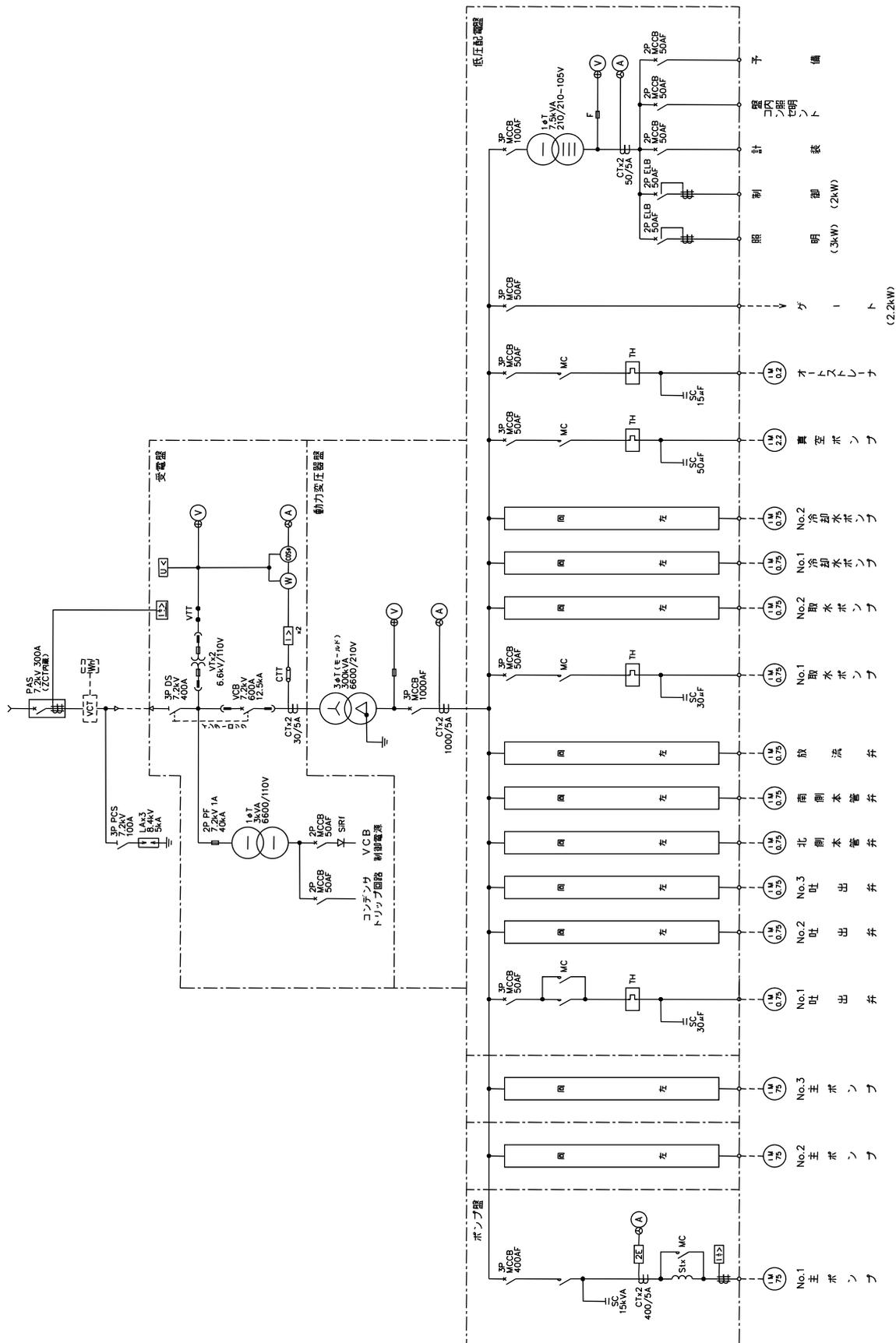


図 2.1-5 単線結線図 (例)

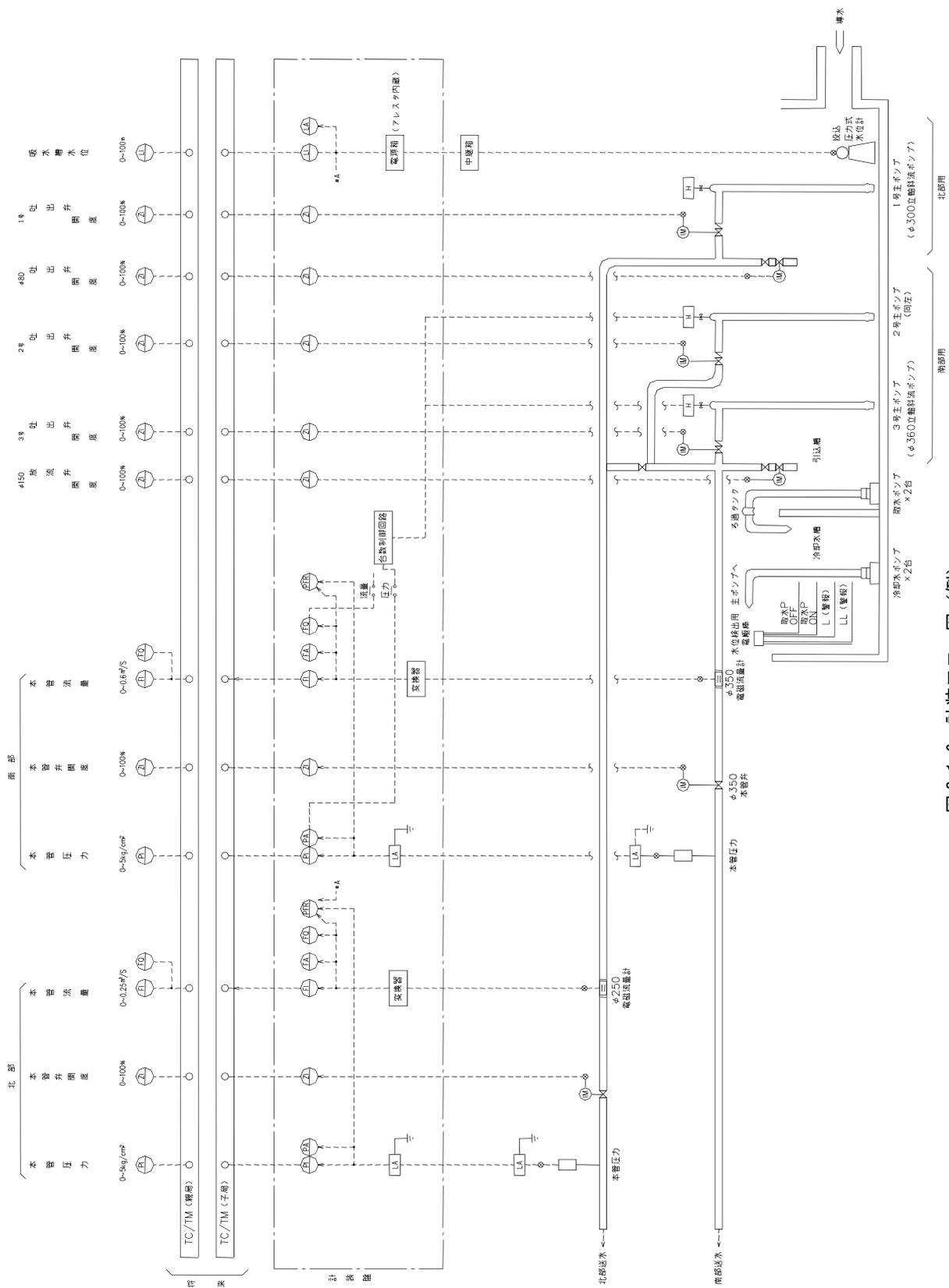


図 2.1-6 計装フロー図 (例)

## 2.2 設備容量の計画

### 2.2.1 負荷設備と負荷表の作成

一般に、電気供給側からみて電気を消費する電灯や電動機等を負荷設備という。電気設備の設計においては、ポンプ、ゲート等の機械設備や建屋電灯設備等の負荷設備を集約することにより設計の基本事項が明らかになる。すなわち、負荷設備の容量、台数を集約することにより別項の契約電力、非常用発電装置容量、変圧器容量、コンデンサ容量計算へと展開される。これらの計算を行うに当たってはあらかじめ負荷表を作成する必要があるが、計算の目的により集計項目が異なるため、本指針では、負荷表の適用と留意点を表 2.2-1 に示すとともに、表 2.2-2、表 2.2-3 に2種類の負荷表を示す。

表 2.2-1 負荷表の適用と留意点

	留意事項	適用様式
契約電力	実働の容量を求めるために同時運転の有無、予備台数を明確にする。	表 2.2-2
非常用発電装置容量	停電時においても運転が必要な負荷を明確にする。 (例：排水機場のエンジン用補機等)	表 2.2-2
変圧器容量	常用、予備、同時運転の有無を明確にする。 容量はkVA となるため、負荷の効率・力率を明確にする。 需要率に関連するため連続・間欠運転の区別を明確にする。 電動機については始動時電圧降下に関連するため、最も大きい負荷の始動電流を明確にする。	表 2.2-3
コンデンサ容量	容量は各負荷の無効電力で決定されるため、負荷の効率・力率を明確にする。	表 2.2-3

### 2.2.2 契約種別

契約種別は、各電力会社の電気供給約款(以下「供給約款」という)によるが、各電力会社ごとに内容が若干異なるため注意を要する。契約種別は、後に述べる受電電圧等とともに電力会社と協議して最終的に決定する。契約種別の例(東京電力の場合)を表 2.2-4 に示す。

表 2.2-2 負荷表(1)

NO.	負荷名称	単機容量 P [kW]	電圧 [V]	連続	間欠	設備 台数	予備 台数	実働容量 P <sub>0</sub> [kW]	非常用発電装置		備考
									対象台数	対象容量 [kW]	
1	動力負荷 (三相負荷)										
2											
3											
4											
5											
6											
7	(単相負荷)										
8											
9											
10	動力小計										
11											
12	電灯負荷										
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21	電灯小計										
22											
23	計										

注) 「予備台数」は「設置台数」の内数を示す。

表 2.2-3 負荷表(2)

No.	負荷名称	単機容量 P [kW]	単位	電 圧 [V]	設 備 台 数	予 備 台 数	効 率 η	力 率 pf	始動電流 I <sub>s</sub> [A]	実働容量 P <sub>o</sub> [kW]	入 力 P <sub>in</sub> [kW]	入 力 P <sub>q</sub> [kvar]	入 力 P <sub>s</sub> [kVA]	需 要 率 β	P <sub>in</sub> × β [kW]	P <sub>q</sub> × β [kvar]	P <sub>s</sub> × β [kVA]	備 考	
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			
21																			
22																			
23																			

注) 「予備台数」は「設置台数」の内数を示す。

- 計算方法
- P<sub>o</sub> × P × (設備台数 - 予備台数) [kW]
  - P<sub>in</sub> = P<sub>o</sub> / η [kW]
  - P<sub>q</sub> = P<sub>s</sub> × √{1 - (pf)<sup>2}}</sup> [kvar]
  - P<sub>s</sub> = P<sub>in</sub> / pf [kVA]

表 2.2-4 契約種別（例 東京電力）

電気供給約款（平成 28 年 1 月 1 日現在）

需要区分	契約種別		契約容量、電流又は電力の適用
電 灯 需 要	定 額 電 灯		400VA 以下
	従 量 電 灯	A	5A 以下
		B	10A 以上 60A 以下
		C	6kVA 以上 50kVA 未満
	臨 時 電 灯	A	3kVA 以下
		B	40A 以上 60A 以下
		C	6kVA 以上 50kVA 未満
	公 衆 街 路 灯	A	1kVA 未満
B		1kVA 以上 50kVA 未満	
電 力 需 要	低 圧 電 力		50kW 未満
	臨 時 電 力		50kW 未満
	農 事 用 電 力		50kW 未満

電気需給約款「特定規模需要（高圧）」（平成 26 年 4 月 1 日現在）

契約種別	契約容量、電流又は電力の適用
業 務 用 季 節 別 時 間 帯 別 電 力	50kW 以上 2000kW 未満
高 圧 季 節 別 時 間 帯 別 電 力	50kW 以上 2000kW 未満
業 務 用 電 力	50kW 以上 2000kW 未満
高 圧 電 力	50kW 以上 2000kW 未満
臨 時 電 力	50kW 以上 2000kW 未満
農 事 用 電 力	50kW 以上 2000kW 未満
自 家 発 補 給 電 力 A	発電設備の検査補修等に伴う不足電力の補給
自 家 発 補 給 電 力 B	発電設備の検査補修等に伴う不足電力の補給
予 備 電 力	常時供給設備補修等に伴う不足電力の補給

(1) 電力の適用と留意事項

平成 5 年の総合資源エネルギー調査会によるエネルギー需給システムのあり方についての検討に端を発し、平成 7 年 4 月には電力小売事業制度や料金規制の見直しなど、電力の自由化に向けた大幅な電気事業法の改正が実施されて以来、電力小売自由化の対象は平成 12 年 3 月に特別高圧需要家、平成 16 年 4 月には契約電力 500kW 以上の高圧需要家、平成 17 年 4 月には契約電力 50kW 以上の高圧需要家へと徐々に拡大されて、平成 28 年 4 月から全面自由化へと進められてきた(表 2.2-5 参照)

このことから、各電力会社の契約種別の見直しにより、電力契約種別が各電力会社間で異なってきたところである。

今まで主に採用されていた農業農村整備事業等で造成されるかんがい排水用のポンプ、ゲート設備等の動力に供給する農事用電力契約は、一部の電力会社では契約メニューより削除された。

電力小売の自由化により電力会社以外の事業者（特定規模電気事業者）を選択することが可能となり、料金は供給側と需要家間の交渉で決定するようになったことから、より安価な電気契約に向けて電力供給会社との事前協議等が重要となる。

いずれの場合においても、受変電設備の建設に要する費用及び維持管理費等を考慮し、経済的な電気契約としなければならない。

### a. 2回線受電による契約

ポンプ場などで運転期間がある一定期間（かんがい期のみの場合等）の場合は、動力用の電力については一定期間受電契約とし、通年受電が必要な建屋付帯照明等の電力については別回線として通年契約とする2回線受電の方法もあるが農事用電力の取り扱いが各電力会社により異なるため電力会社等との協議が必要である。

### b. 低圧電力による契約

供給約款による「低圧電力」は、動力負荷利用のための契約種別である。これによる場合、動力回路から照明機器・制御装置（動力操作のための単純な操作回路は除く。）等への電力供給は認められない場合があることから、動力負荷に照明機器・制御装置を併設する場合は、別に従量電灯契約による受電を考慮する。

ただし、電力会社によっては軽微な負荷の場合、低圧電力からの供給が可能な場合もあることから、事前に電力会社等との協議が必要である。

表 2.2-5 電力自由化の経緯

	平成12年3月～	平成16年4月～	平成17年4月～
[契約kw] (電圧V)			
	自由化部門	自由化部門	自由化部門
[2,000kw] (20,000V)	<p>【特別高圧産業用】大規模工場 【特別高圧業務用】デパート、オフィス 電力量 26%</p>	<p>【特別高圧産業用】大規模工場 【特別高圧業務用】デパート、オフィス 【高圧B】中規模工場 【高圧業務用(500kW以上)】 スーパー、中小ビル 電力量 40%</p>	<p>【特別高圧産業用】大規模工場 【特別高圧業務用】デパート、オフィス 【高圧B】中規模工場 【高圧業務用】スーパー、中小ビル 【高圧A】小規模工場 電力量 63%</p>
[500kw]	<p>【高圧B】 中規模工場 電力量 9%</p>	<p>【高圧A】 小規模工場 電力量 9%</p>	
[6,000V]	<p>【高圧業務用】 スーパー、中小ビル 電力量 19%</p>	<p>【高圧業務用】 500kW未満 電力量 14%</p>	
(100～ 200V)	<p>【低圧】小規模工場、コンビニ 電力量 5%</p> <p>【電灯】家庭 電力量 31%</p>	<p>【低圧】小規模工場、コンビニ 電力量 5%</p> <p>【電灯】家庭 電力量 31%</p>	<p>【低圧】小規模工場、コンビニ 電力量 5%</p> <p>【電灯】家庭 電力量 31%</p>
			平成28年4月全面自由化

参考：資源エネルギー庁第1回市場監視小委員会配布資料一覧（参考資料1）

2.2.3 契約電力の算定

契約電力の算定は各電力会社の「電気供給約款」「電気最終保障約款」「電気需給約款」等に基づき行う。

農事用電力以外では、契約電力が 50 [kW] 未満、50 [kW] 以上 500 [kW] 未満、500 [kW] 以上 2000 [kW] 未満の3種別で表 2.2-6 に示すようにその算定方法が異なる。

表 2.2-6 契約電力の算定方法

契約電力 50 [kW] 未満 ①	低圧電力が適用され、供給約款に基づく計算方法により契約電力が決定される。
50 [kW] 以上 500 [kW] 未満 ②	高圧電力A又は業務用電力が適用され、1年を通じての最大需要電力の値により契約電力が決定される。
500 [kW] 以上 2000 [kW] 未満 ③	高圧電力B又は業務用電力が適用され、使用する負荷設備及び受電設備の内容、同一業種の負荷率、操業度などを基準として、電力会社との協議により定める。

注) 高圧電力については、電力供給会社により契約種別名が異なる。

ただし、農事用電力が適用される場合は、契約電力 500 [kW] を境に算定方法が異なるので注意を要する。すなわち、契約電力が 500 [kW] 未満の場合は、供給約款に基づく算定方法により契約電力が設定され、契約電力が 500 [kW] 以上の場合は、高圧電力、特別高圧電力に準じて定められる。

以上を契約種別ごとにまとめると表 2.2-7 のとおりとなる。

表 2.2-7 契約種別ごと契約電力の計算方法

契約電力 \ 契約種別	業務用電力	低圧電力	高圧電力 A	高圧電力 B	農事用電力
契約電力 50 [kW] 未満	—	①	—	—	①
50 [kW] 以上 500 [kW] 未満	②	—	②	—	④
500 [kW] 以上 2000 [kW] 未満	③	—	—	③	③

注) 表中の①②③は、表 2.2-6 に対応している。  
高圧電力については、電力供給会社により契約種別名が異なる。

農事用電力で 500 [kW] 未満の場合(表 2.2-7 の④に対応)の契約電力の計算例を東京電力電気供給約款に基づき、以下に述べる。

計算例に用いる単線結線図、負荷表を図 2.2-1、表 2.2-9 に示す。契約電力は、負荷設備による計算(契約負荷設備容量)と受電設備による計算(契約受電設備容量)を行い、それぞれの計算により得た値のうち、いずれか小さい方を契約電力とする。なお、契約電力の値は整数とし、小数点第1位を四捨五入する。

なお、高圧受電の場合で、受電設備を設置した初年度は、この計算例で算定した電力で契約を行うが、2年目以降については、デマンド（最大需要電力）を考慮した電力会社との契約電力量を協議して契約するよう留意する。また、500kW以上の高圧受電では、併せて農事用電力の適用についても留意する。

(1) 負荷設備（契約負荷設備）による計算

契約負荷設備の各入力についてそれぞれ次の a の係数を乗じて得た値の合計に b の係数を乗じて得た値。ただし負荷設備が出力表示されている場合は、表 2.2-8 契約負荷設備入力換算率表の換算率によって入力に換算する。

a. 契約負荷設備のうち

最大の入力 のものから	最初の2台の入力につき	100パーセント
	次の2台の入力につき	95パーセント
	上記以外のもの入力につき	90パーセント

ただし、電灯又は小型機器は、その全部を1台の契約負荷設備とみなす。

①誘導電動機

表 2.2-8 契約負荷設備入力換算率表

契約負荷設備		換算率
単相誘導 電動機	出力が馬力表示のもの	100.0パーセント
	出力がキロワット表示のもの	133.0パーセント
3相低圧誘導 電動機	出力が馬力表示のもの	93.3パーセント
	出力がキロワット表示のもの	125.0パーセント
3相高圧誘導 電動機	出力が馬力表示のもの	87.8パーセント
	出力がキロワット表示のもの	117.6パーセント

②その他の電気機器

上記以外の電気機器については、機器の特性に応じて需要家と電力会社との協議によって定める。

b. a によって得た値の合計のうち

最初の	6キロワットにつき	100パーセント
次の	14キロワットにつき	90パーセント
次の	30キロワットにつき	80パーセント
次の	100キロワットにつき	70パーセント
次の	150キロワットにつき	60パーセント
次の	200キロワットにつき	50パーセント
	500キロワットを超える部分につき	30パーセント

(2) 受電設備(契約受電設備容量)による計算

契約受電設備の総容量（単相変圧器を結合して使用する場合は、その群容量による。）と受電電圧と同位の電圧で使用する契約負荷設備の総入力との合計（この場合、契約受電設備の総容量については、1ボルトアンペアを1ワットとみなす。）に次の係数を乗じて得た値とする。ただし負荷設備が出力で表示されている場合は、表 2.2-8 契約負荷設備入力換算率表の換算率によって入力に換算するものとする。

最初の	50 キロワットにつき	80 パーセント
次の	50 キロワットにつき	70 パーセント
次の	200 キロワットにつき	60 パーセント
次の	300 キロワットにつき	50 パーセント
	600 キロワットを超える部分につき	40 パーセント

以上の負荷設備による契約負荷設備容量と、受電設備による契約受電設備容量の算定例を以下に示す。

(3) 負荷設備による計算例(契約負荷設備容量)

表 2.2-9 負荷表では容量が出力表示されているため表 2.2-8 契約負荷設備入力換算率表に基づき、入力電力に換算後(1)の a による係数を乗じて合計値を求める。計算結果を次表にまとめる。

a の計算

		容量×入力係数	入力換算	圧縮率(%)	圧縮後
もの から 最大 入力 の	最初の 2 台	$75 \times 1.25$	93.75	100	$93.75 \times 1.00 = 93.75$
		$75 \times 1.25$	93.75	100	$93.75 \times 1.00 = 93.75$
	次の 2 台	$2.2 \times 1.25$	2.75	95	$2.75 \times 0.95 = 2.61$
		$2.2 \times 1.25$	2.75	95	$2.75 \times 0.95 = 2.61$
	上記以外	$6.95 \times 1.25$	8.69	90	$8.69 \times 0.90 = 7.82$
		単相負荷×1.00	7.50	90	$7.5 \times 0.90 = 6.75$

注) 入力係数は表 2.2-8 契約負荷設備入力換算率表による。  
圧縮率は(1) a による。

次に a によって得た値に対し、(1) b の値を乗じる。

b の計算

	圧縮率	圧縮率後	残り容量
最初の 6kW	100%	$6 \times 1.00 = 6.0$	$207.3 - 6 = 201.3$
次の 14kW	90%	$14 \times 0.90 = 12.6$	$201.3 - 14 = 187.3$
次の 30kW	80%	$30 \times 0.80 = 24.0$	$187.3 - 30 = 157.3$
次の 100kW	70%	$100 \times 0.70 = 70.0$	$157.3 - 100 = 57.3$
次の 150kW	60%	$57.3 \times 0.60 = 34.4$	
合計		147.0	

したがって、本例における負荷設備による契約負荷設備容量算定値は 147.0 [kW] となる。

(4) 受電設備による計算例(契約受電設備容量)

図2.2-1の単線結線図により受電変圧器の容量は300kVAのため(2)による係数を乗じて合計値を求める。計算結果を次表にまとめる。

	圧縮率	圧縮率後	残り容量
最初の 50 キロワット	80%	$50 \times 0.80 = 40.0$	$300.0 - 50 = 250.0$
次の 50 キロワットにつき	70%	$50 \times 0.70 = 35.0$	$250.0 - 50 = 200.0$
次の 200 キロワットにつき	60%	$200 \times 0.60 = 120.0$	$200.0 - 200 = 0.0$
合計		195.0	

したがって、本例における受電設備による契約受電設備容量算定値は195.0 [kW] となる。

(5) 算定結果

(3)、(4)にて、負荷設備による計算と受電設備による計算の結果から負荷設備による値が147.0 [kW] と受電設備による値195.0 [kW] より小さいため、本例での契約電力は小数点第1位を四捨五入し147 [kW] となる。

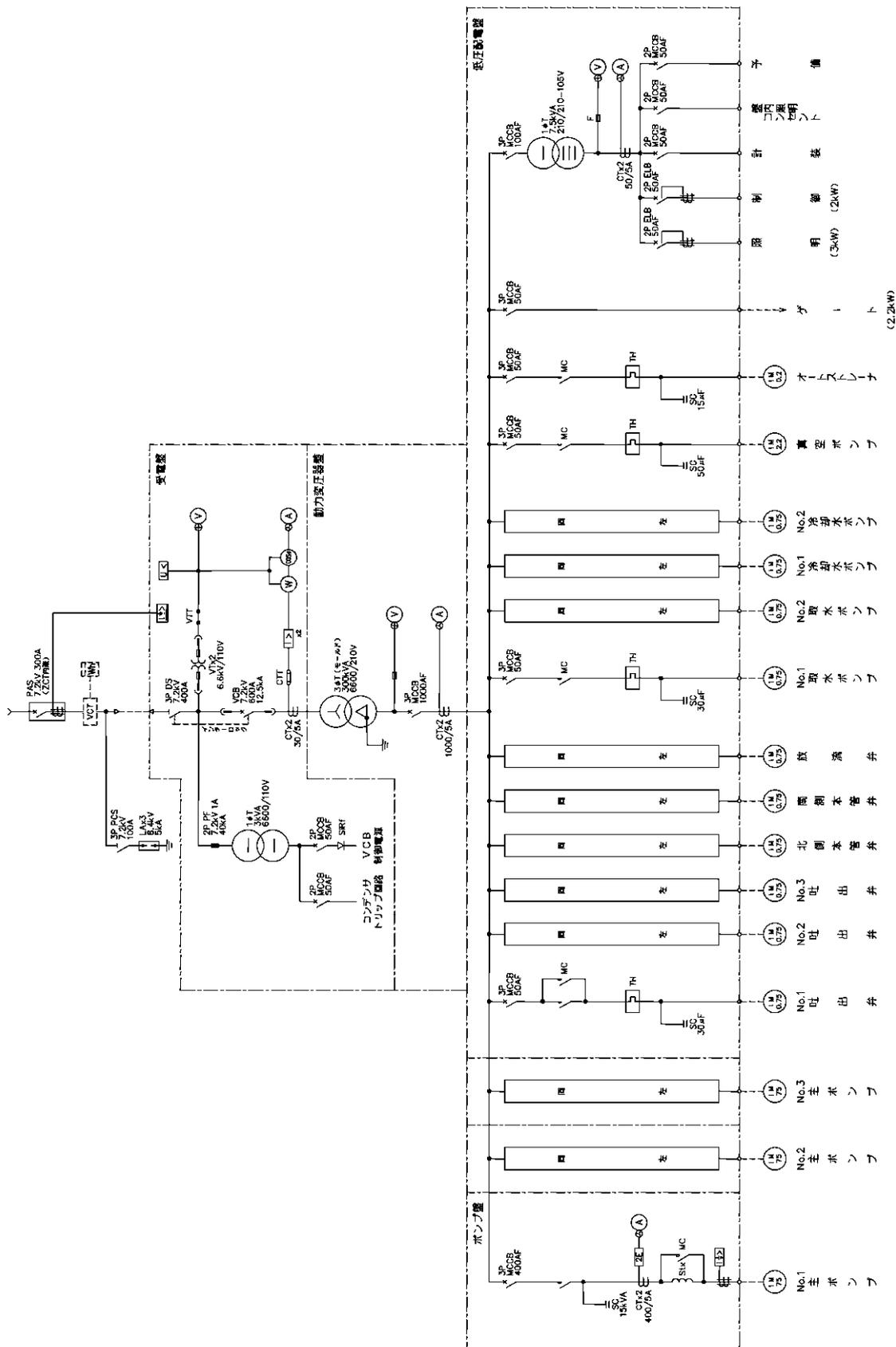


図 2.2-1 単線結線図 (例)

表 2.2-9 負荷表

No.	負荷名称	単機容量 P [kW]	電 圧 [V]	連続	間欠	設備 台数	予備 台数	実働容量 P <sub>0</sub> [kW]	非常用発電装置		備 考
									対象台数	対象容量 [kW]	
1	主ポンプ	75	210	○		3	1	150	2	150	
2	吐出弁	0.75	210		○	3	1	1.5	2	1.5	
3	北側本館弁	0.75	210		○	1		0.75	1	0.75	
4	南側本館弁	0.75	210		○	1		0.75	1	0.75	
5	放流弁	0.75	210		○	1		0.75	1	0.75	
6	取水ポンプ	0.75	210	○		2		1.5	2	1.5	
7	冷却水ポンプ	0.75	210	○		2		1.5	2	1.5	
8	真空ポンプ	2.2	210	○		1		2.2	1	2.2	
9	オートストレーナ	0.2	210	○		1		0.2	1	0.2	
10	ゲート	2.2	210		○	1		2.2	1	2.2	
11	所内電源	7.5	210	○		1		7.5	1	7.5	
	合 計							168.85		168.85	

注) 「予備台数」は「設置台数」の内数を示す。

## 2.3 受電方式の決定

### 2.3.1 受電方式と受電電圧

受変電設備は一般に電圧が低いほど設備費が安価であり、設置面積が小さく、保守も容易である。受電電圧は表 2.3-1 に示すとおり契約電力によって定まり、契約電力が大きいほど高い電圧で受電する必要がある。

表 2.3-1 各電力会社の契約電力と標準供給電圧

電力会社	標準電圧							
	低圧	高圧	特別高圧					
	100V又は 200V	kV 6	kV 20	kV 30	kV 60	kV 70	kV 100	kV 140
北海道電力 50Hz	50kW 未満	2000kW 未満		2~10MW 未満	10MW 以上			
東北電力 50Hz	50kW 未満	2000kW 未満		2~10MW 未満	10~50MW 未満			50MW 以上
東京電力 50Hz	50kW 未満	2000kW 未満	2~10MW 未満		10~50MW 未満			50MW 以上
北陸電力 60Hz	50kW 未満	2000kW 未満	2~10MW 未満		10~50MW 未満			50MW 以上
中部電力 60Hz	50kW 未満	2000kW 未満	2~10MW 未満			10~50MW 未満		50MW 以上
関西電力 60Hz	50kW 未満	2000kW 未満	2~10MW 未満			10MW 以上		
中国電力 60Hz	50kW 未満	2000kW 未満	2~10MW 未満		10~30MW 未満		30MW 以上	
四国電力 60Hz	50kW 未満	2000kW 未満	2~10MW 未満		10MW 以上			
九州電力 60Hz	50kW 未満	2000kW 未満	2~10MW 未満		10~50MW 以上		50MW 以上	
沖縄電力 60Hz	50kW 未満	2000kW 未満	2000kW 以上		2000kW 以上			

平成28年4月

注) 特別高圧受電電圧は、地域に限定する必要があるため、事前に電力会社へ確認すること。

受電方式は、負荷がどれだけ長時間の停電を許容するかによって決定されるが、特に農事用受変電設備については表 2.3-2 を参考にして次の順位で検討する。

- (1) 農事用電力により一定期間の受電を行う場合で非かんがい期に保守電源が必要な場合は、低圧電力契約又は電灯契約などの要否について検討する。(ただし、電力会社との協議が必要である。)
- (2) 停電時等において、一部負荷に対する電源供給の信頼性を確保する必要がある場合、非常用発電装置の要否を検討する。
- (3) 停電時等において、設備全体に対する電源供給の信頼性を確保する必要がある場合、2回線(常用-予備)受電を検討する。
- (4) ループ受電は特別に高信頼性を必要とする場合で、電力会社から要請のある場合に検討する。

表 2.3-2 受電方式の決定

受電方式	条件
1回線受電	短時間の停電でも支障がない。
1回線受電+非常用発電装置	短時間の停電でも、小容量の電源があればよい。
常用予備2回線受電	停電は支障があり、電源の信頼度を上げたい。
ループ受電	電力会社の要請がある。

農事用では1回線受電が最も多く適用されてきており、以下にその概要を述べる。

1回線受電方式は最も簡単で経済的であるが、電力会社側の事故又は定期点検等により全停電となることがある。しかし定期点検の場合は半日程度の予告停電であることが多く、施設に与える影響が少ないと判断できる場合には1回線受電方式を採用する。図 2.3-1 に1回線受電の回路を示す。

ここで、1回線専用受電とは、1つの受電設備（需要家）に対して専用の配電線で供給する方式であり、1回線T分岐とは、1組の配電線で、複数の受電設備（需要家）に分岐して配電する方式である。どちらの方式とするかは電力会社の配電システムの事情によるが、一般的にはT分岐方式が多いが専用受電とすれば信頼性は向上する。

また、農事用電力の受電方式として、農事用（高圧）+保守電源での受電方式もあり、現場状況に応じて検討する。なお、検討に当たっては、各電力会社等と打合せの上で計画する必要がある。

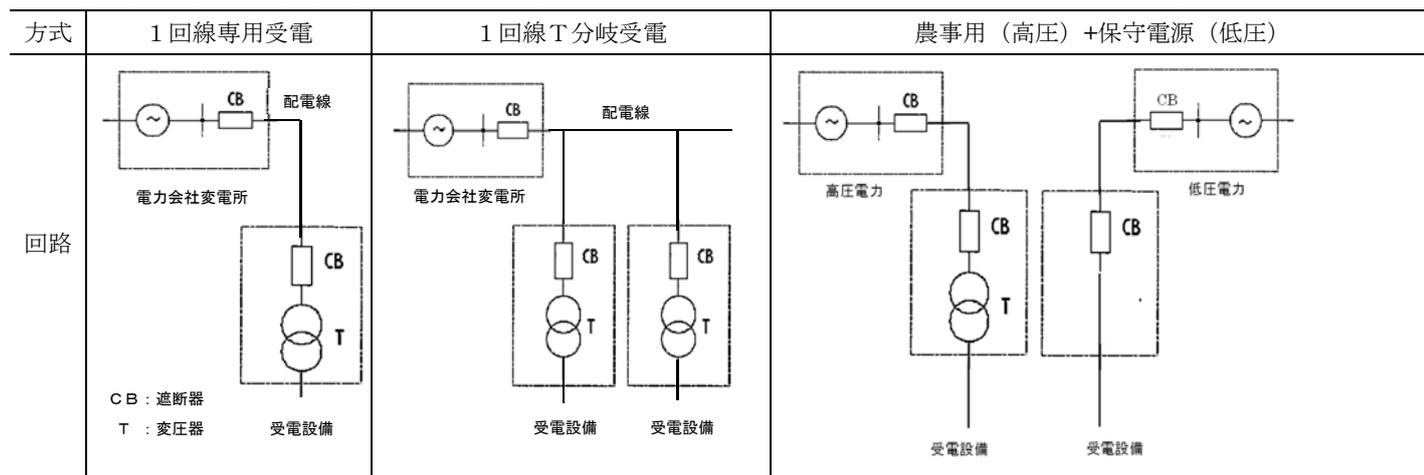


図 2.3-1 1回線受電回路図と高圧+低圧受電回路図

### 2.3.2 受電地点の遮断容量

受電用遮断器の定格遮断電流を選定する際には、受電点での短絡容量を知る必要がある。

遮断容量は、電力会社の系統の容量で決定され、電力会社から受電点における短絡容量〔MVA〕又は短絡電流〔kA〕の値が提示される。遮断器の選定に当たっては、この短絡電流を上回る定格遮断電流を有するものを適用する。

受電用遮断器の定格遮断電流は、ほとんどの場合、電力会社が12.5〔kA〕を推奨しているため、本指針でも12.5〔kA〕を標準とした。ただし、一部山間部において8〔kA〕でよい場合もある。また、特別高圧受電の主変圧器二次側短絡電流は12.5〔kA〕より大きくなることもあるため、十分な検討が必要である。

## 2.4 配電方式の決定

### 2.4.1 電動機電圧の選定

#### (1) 電圧決定の要因

電動機電圧の決定に際しては次に掲げる項目を考慮する。

##### (a) 単機容量と製作限界

出力容量によって製作範囲に制限がある。

##### (b) 配電距離及び電圧降下

高電圧になるに従い電圧降下を小さく抑えることが容易となる。

##### (c) 配電盤及び工事を含めた設備全体の経済性

小容量機が多い場合は電動機、コントロールセンタとも 200 [V] の方が経済的である。

##### (d) 系統の遮断電流、通電電流などの技術的検討

中容量(75~150kW 程度)の電動機で、台数が多い場合には、変圧器二次遮断電流が大きくなるため、高圧電動機の採用を検討する。

##### (e) 安全性

低電圧の方が安全面で有利

##### (f) スペース

高電圧になるに従い相対的に機器が小型化される。

##### (g) 予備品・代替品などの調達の容易さ

#### (2) 電動機定格出力と電圧の関係

一般的な三相誘動電動機の製作可能範囲を図 2.4-1 に示す。電動機電圧は、この図の範囲から選定する。

電動機の電圧の選定に当たっては電動機だけでなく、受変電設備及び電動機の開閉器、始動器、降圧用変圧器、ケーブル、進相コンデンサなどを含めて、それぞれの電圧における経済性、利害得失を総合的に比較検討して決定しなければならない。

経済的な電圧の選定に当たって検討しなければならない事項は、据付面積、メンテナンスの費用、予備品などを含んだ設備のコスト、電源の方式、設備拡張の有無、互換性、使用電動機の種類、効率、力率などの特性、設備の安全性などである。これらのうち最も重要な要素である設備のコストは、電動機の台数、出力によって変化する。

例えば、高圧電動機の場合 3 [kV] 級に比べ 6 [kV] 級は絶縁材料とその処理工程が増え、コスト高になる。しかし 3 [kV] 級では出力が大きくなるほど電流が増加し銅量が多くなるため、6 [kV] 級とコスト的に接近してくる。

一方、3 [kV] 級は、受電電圧 6 [kV] から 3 [kV] への降圧が必要なので変圧器盤や変圧器二次盤が必要となりその分のコストを加算して考慮しなければならない。

また、低圧電動機の場合は小容量機種を中心に 200 [V] 級が圧倒的に多く製作されているが、400 [V] 級にすれば電流が少ない分だけ制御機器（開閉器、配線用遮断器など）やケーブルのコストが低くなるメリットがあるので、特に中容量以上では 400 [V] 級の採用も検討する必要がある。

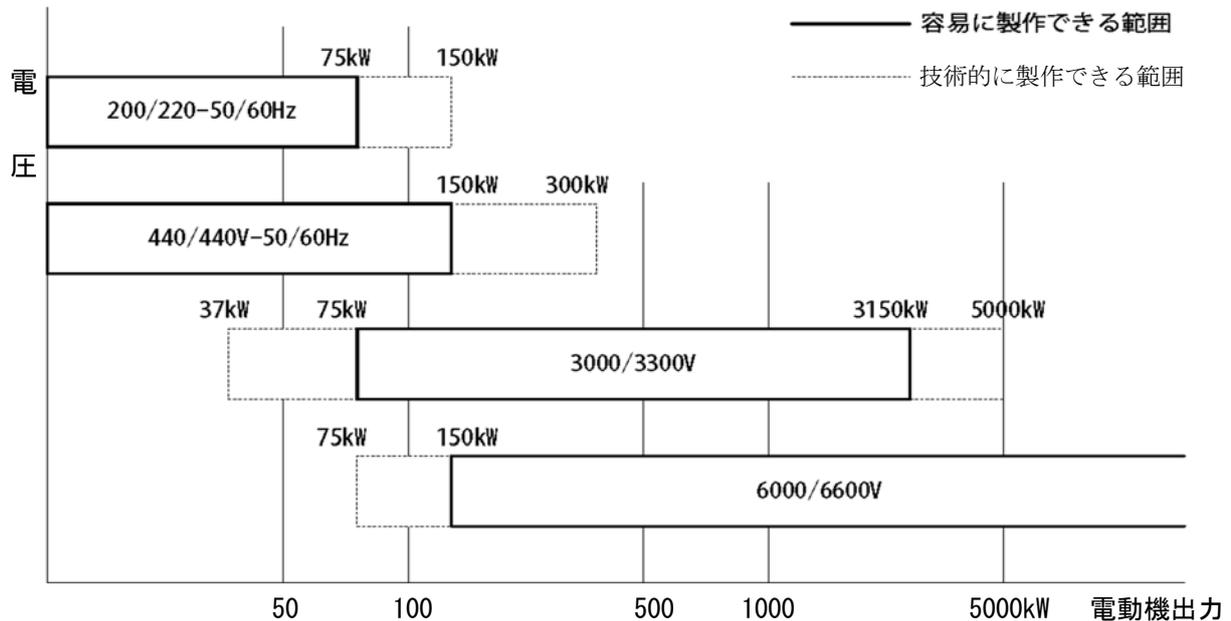


図 2.4-1 三相誘導電動機定格出力と電圧の関係

#### 2.4.2 配電電圧と配電方式

一般的な配電電圧と配電方式の選定フローを図 2.4-2 に示す。配電電圧と配電方式は、設備の契約電力、負荷の内容、使用電圧、幹線区分、電圧降下、非常用発電装置の必要性、更に経済性等を考慮して決定する。

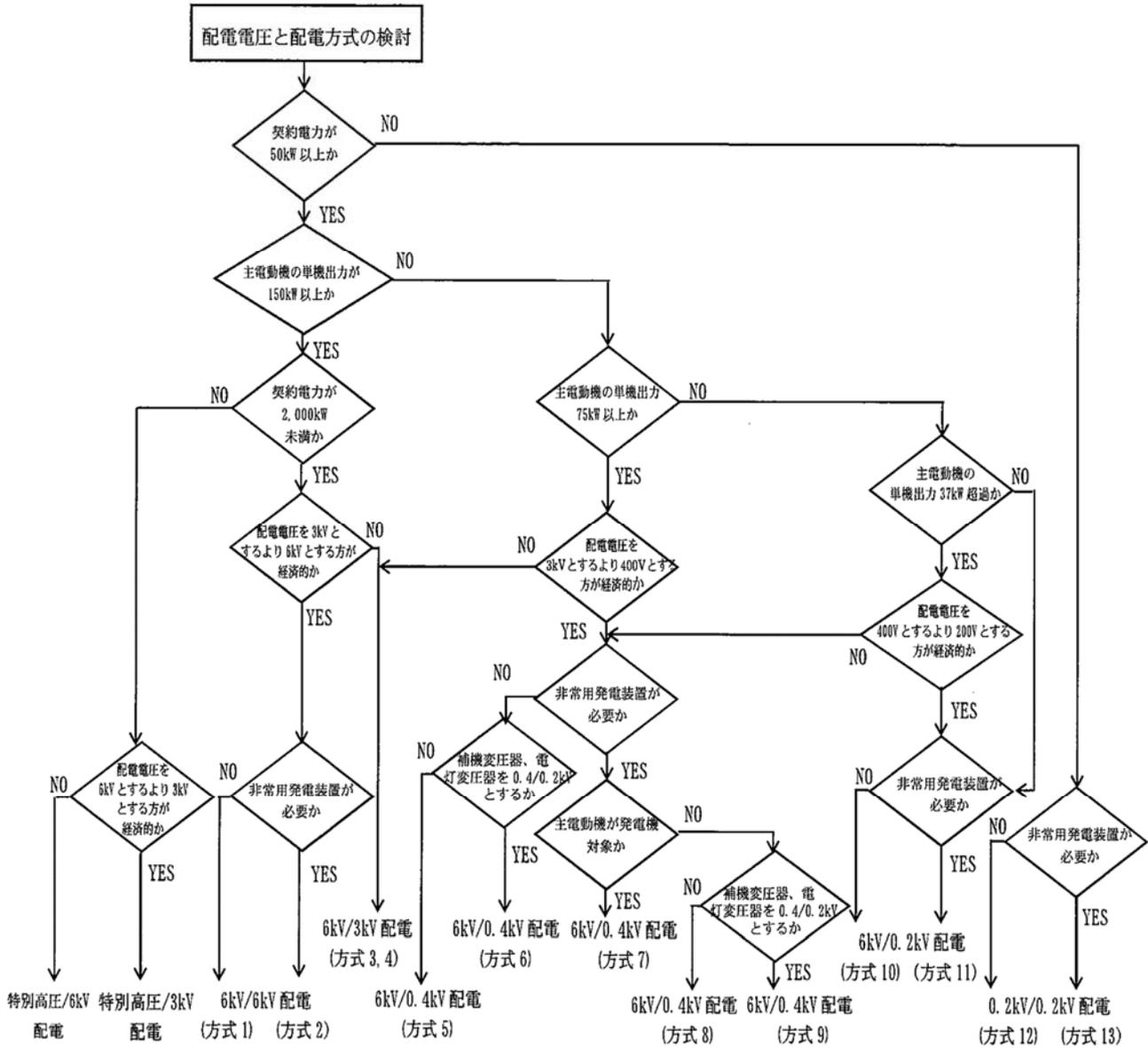
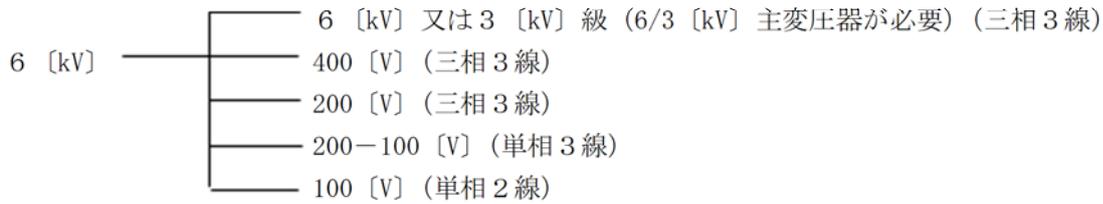
##### (1) 配電電圧

###### (a) 高圧受電の場合

① 高圧電動機への給電は定格電圧により 3 [kV] 級と 6 [kV] 級とがあるが、高圧系統の簡素化、開閉装置が 3 [kV] 級と 6 [kV] 級とは共用であること等の点から配電電圧を 6 [kV] とすることが多い。

一方、配電電圧を 3 [kV] とした場合、電動機の価格は 6 [kV] より安価となるが 6/3 [kV] 主変圧器盤や、場合によっては変圧器二次盤も必要となるので経済比較を検討の上、決定する。

[高圧からの配電の例]



- 注1：(方式1)～(方式13)は図2.4-5を参照すること。
- 注2：ダム、頭首工設備においてはゲート用電動機を含めたすべての電動機のうち最大のものを基準に選定すること。
- 注3：特別高圧配電については、電気設備計画設計指針(特別高圧編)を参照すること。
- 注4：3kV配電において、主変圧器保守時保安電源を必要とする場合(方式3)を選定する。

図2.4-2 配電電圧と配電方式の選定フロー

- ②出力 75～150 [kW] 程度の電動機は、経済性の点から高圧とするよりも 400 [V] とすることが多い。この場合、6 [kV] /400 [V] の動力変圧器が必要となる。
- ③一般低圧動力用としては 200 [V] の電動機が最も多く用いられているので、本指針では補機用電動機の電圧は 200 [V] を標準とする。
- したがって、主電動機電圧が高圧あるいは 400 [V] の場合は、200 [V] に降圧するための補機動力用変圧器を別に設置する。
- この場合、電圧は 6 [kV] /200 [V] 又は 3 [kV] /200 [V] 又は 400/200 [V] のいずれかを経済性を考慮して選定する。
- ④主電動機出力が 45～55 [kW] 程度の施設では電気設備全体の経済比較において、主電動機、電圧 400 [V] のほうがやや有利であるが、主機の台数が 2 台程度であれば、200 [V] とほぼ同等となり、200 [V] とした方が補機動力用変圧器を別に設置する必要がないので設備構成が簡素化される。
- ⑤出力 37 [kW] 以下では主電動機、補機用電動機とも 200 [V] を標準とする。
- ⑥ダムや頭首工などで配電距離が長い場合には、出力 55 [kW] 以下の電動機であっても電圧降下の影響が大きくなる場合もあるため、400 [V] とすることを検討する。
- ⑦照明その他の負荷用として、単相 3 線式照明変圧器を設置する。ほとんどの場合、動力に比べて小容量であるため、主電動機と同じ電源系統から分岐する。この場合、電圧は 6 [kV] /200-100 [V] 又は 3 [kV] /200-100 [V] 又は 400/200-100 [V] のいずれかを、経済性を考慮して選定する。
- ⑧非常用発電装置が設置される場合において、単相負荷の容量が発電機容量の 15 %程度を超える場合には、三相回路から単相電源を得ることができるスコット変圧器を適用する。これにより、二次側単相負荷を 2 等分して分担すれば、一次側三相電力を平衡させることができるので、非常用発電装置の容量を適正負荷に見合った容量に抑えることができる。

(3.2.3 項参照)

(b) 低圧受電の場合

低圧受電は、契約電力が 50 [kW] 未満で、主電動機が 22 [kW] ×2 台程度以下の小規模な設備に適用され、配電電圧は次のようになる。

- ①低圧動力 200 [V] (三相 3 線)
- ②電灯他 200-100/100 [V] (単相 3 線/単相 2 線)

原則として、電灯電源は低圧動力と別に受電する必要がある。

(2) 配電方式

(a) 配電方式と機器定格電圧（配電電圧等）

表 2.4-1 に負荷と配電方式、機器定格電圧（配電電圧等）の関係を示す。

表 2.4-1 負荷と配電方式、配電電圧等の関係

[準拠規格 JIS C 4304(2013) (:配電用 6kV 油入変圧器) JEC0222(2009) (:標準電圧)]

負 荷	電圧階級	配電方式	変圧器 2 次 定格電圧 (V)	機器定格電圧 (V)	線路公称 電圧 (V)
高 圧 動 力	6kV 級	三相 3 線	—	6600 6000	6600
	3kV 級	三相 3 線	3300 3000	3300 3000	3300
低 圧 動 力	400V 級	三相 3 線	440 420	440 400	—
	200V 級	三相 3 線	210	220 200	—
電灯コンセント	100V 級	単相 2 線又は 単相 3 線	210 105	200 100	—

原則として、高圧動力の場合、上段は 60 [Hz]、下段は 50 [Hz] の適用となる。低圧動力の場合、上段は 60 [Hz] のみ、下段は 50、60 [Hz] で適用される。電灯コンセントについては共通である。

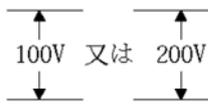
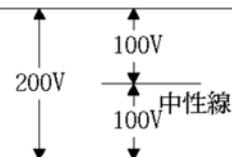
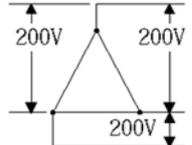
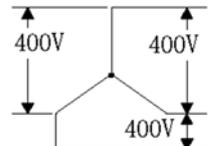
ただし、これらは絶対的なものではないので、弾力的に運用してもよい。

(b) 配電方式・電圧と電線量

一般に電気機器の内部配線以外の機外配線等の電線量は、相数、電圧を上げるほど低減する傾向がある。

表 2.4-2 は、低圧における配電方式・電圧と電線量の関係を示す。特に配電距離が長い場合の配電方式・電圧の選定に当たっては、設備の容量と併せて総合的に検討することが必要である。

表 2.4-2 配電方式・電圧と電線量(銅量)

電気方式		電圧関係	電圧降下に基づく電線量の比較 [%]	許容電力に基づく電線量の比較 [%]	備 考
単 相	2線式		100	100	住宅等小規模の需要家に向く。200Vは一般ビルではあまり使用されず工場の電熱、溶接機等の回路に用いられる。
	3線式		中性線サイズが外側線と同じ場合 37.5	中性線サイズが外側線と同じ場合 53	設備容量の大きな住宅を含め、ほとんどの設備がこの方式を採用。単独100V用幹線としては最も経済的である。
三 相	3線式		100	100	一般に動力線と呼ばれる電気方式で、動力用幹線としてほとんどの設備がこの方式を採用している。
			25	25	ビルなどの大容量幹線方式や比較的大容量の負荷に適用される。

備考 上記表は、同じ電力量を対象とした機外配線量の割合を示す。

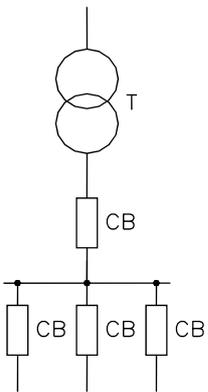
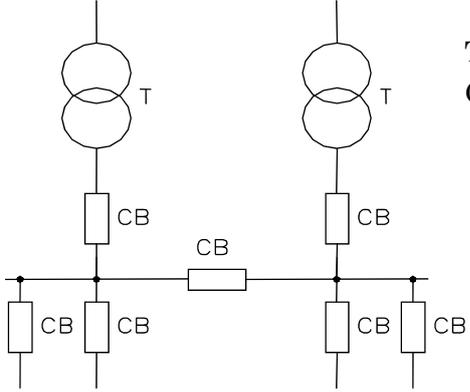
(c) 変圧器のバンク構成及び二次母線方式

同一電圧の負荷に電力を供給するための変圧器を1台とするか2台以上とするか(これをバンク数という)は、信頼性や容量の大小、負荷変動の大きさ、施設の拡張計画の有無、経済性などを検討して決定する。

最近の変圧器は信頼性が向上しており、また、製作上の容量の制約もほとんどないため、本指針では1バンク方式を標準とするが、昼夜又は季節の負荷変動が大きい場合や段階的に拡張する場合など、軽負荷時の変圧器損失が電気料金に大きな影響を与えると予想される場合には、2バンク以上の構成も検討する。

また、二次母線方式は一般に表 2.4-3 のように分類されるが、本指針では、大規模施設を除いて単一母線方式を標準とする。

表 2.4-3 二次母線方式代表例

回路方式	単一母線	母線連絡付単一母線	
結線			<p>T:変圧器 CB:遮断器</p>
備考		母線連絡用開閉器は常時開方式と常時閉方式とがある。	

(3) 配電方式と経済性

配電方式による経済比較の例として設備容量が1000 [kVA] 未満で主電動機の電圧が高圧と低圧の区切りとなる出力150 [kW] (かご形) 前後の場合の例を図 2.4-3 及び表 2.4-4 に、1000 [kVA] 以上で主電動機電圧が6 [kV] と3 [kV] の場合の例を図 2.4-4 及び表 2.4-5 に示す。

(a) 設備容量1000 [kVA] 未満の場合の経済比較

主電動機出力150 [kW] の場合の電動機電圧は次の三つの方式が考えられる。

- 方式①：高圧 6 [kV] 方式
- 方式②：高圧 3 [kV] 方式
- 方式③：低圧 400 [V] 方式

表 2.4-4 に示す価格には配線工事費を含まないが、特に方式③は電動機ケーブルがかなり太くなるため、経済比較のみならず施工の容易性も考慮する必要がある。

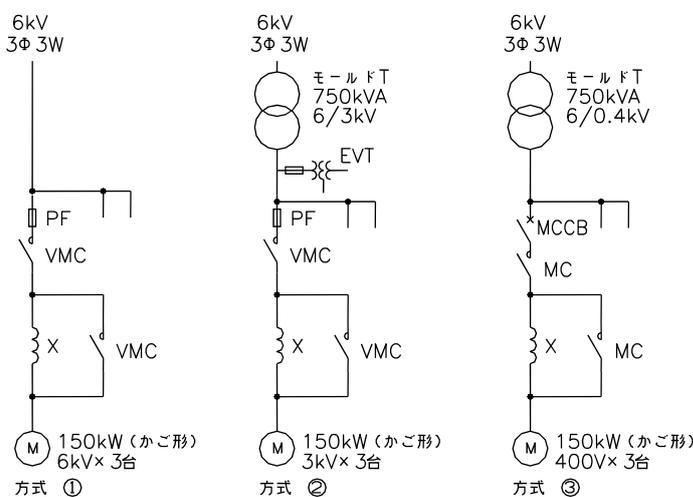


図 2.4-3 経済比較基本図（設備容量 1000 [kVA] 未満の場合）

表 2.4-4 構成及び価格（設備容量 1000 [kVA] 未満の場合）

項目 \ 方式	①	②	③
変圧器	—	○	○
変圧器二次盤	—	○	—
電動機盤×3面 (リアクトル方式)	○	○	○
電動機×3台	○	○	○
価格	①をベース	方式①より高価	方式①より安価

注) 配線工事費は環境・距離の要因により大きく変動するためここでは除外している。

上記は、電動機 150 [kW] × 3 台の設備を想定したものであるが、設備計画においては、始動方式、配線計画、電気室のスペース等の他の要因も考慮し総合的に検討する必要がある。

主変圧器はトップランナー基準(JEM 1501 (2014) (特定機器対応のモールド変圧器における基準エネルギー消費効率))又は高効率変圧器としている。

(b) 設備容量 1000 [kVA] 以上の場合の経済比較

主電動機出力 315 [kW] の例では電動機電圧は高圧となるが次の二つの方式が考えられる。

方式④：高圧 6 [kV] 方式

方式⑤：高圧 3 [kV] 方式

このうち方式⑤は 6/3 [kV] 主変圧器として油入形を選定しているが、維持管理や防火対策の容易さからはモールド形を選定するのが望ましい。したがってこの場合には表 2.4-5 の比較結果は逆転することになるので最近では方式④を適用する例も多い。また、この例では電動機台数が 3 台のケースを比較したが、2 台の場合には両者にほとんど差がなくなるので設備構成が簡素化される方式④のほうが有利になる。

いずれにしても、電動機出力、台数、変圧器の種類によって経済性評価が大きく異なるため、十分な検討が必要である。

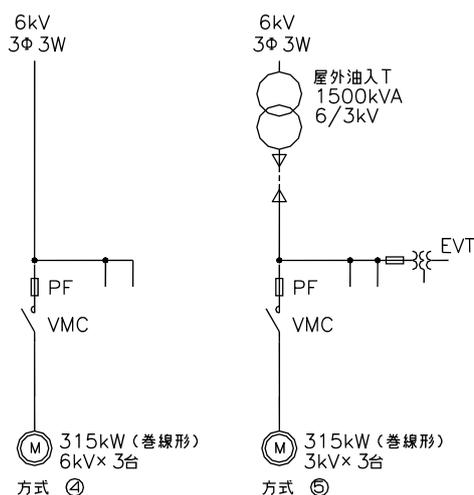


図 2.4-4 経済比較基本図 (設備容量 1000 [kVA] 以上の場合)

表 2.4-5 構成及び価格（設備容量 1000 [kVA] 以上の場合）

項目	方式	④	⑤
変圧器		—	○
変圧器二次盤		—	○
電動機盤×3面 (二次抵抗方式)		○	○
電動機×3台		○	○
価格		方式⑤より高価	方式④より安価

注) 配線工事費は環境・距離の要因により大きく変動するためここでは除外している。

上記は、電動機 315 [kW] × 3 台の設備を想定したものであるが、設備計画においては、始動方式、配線計画、電気室のスペース等の他の要因も考慮し総合的に検討する必要がある。

主変圧器は高効率変圧器としている。

#### (4) 標準配電方式

一般的な配電方式選定上の留意事項は以上のとおりであるが、農事用においてはこれまでの実績から配電方式を表 2.4-6、図 2.4-5 のように整理した。

実際の設計に当たっては、図 2.4-5 の配電方式から経済性を加味して選定することを基本とする。

なお、排水機場においては主ポンプがディーゼル機関駆動方式だけの場合や電動機駆動方式との組合せ構成となる施設もある。高圧受電の施設でディーゼル機関駆動方式の主ポンプを有する場合は(方式 8) 又は(方式 13) を基本パターンとして選定する。

表 2.4-6 各種配電方式図

方式 番号	概要・特徴					主な用途
	受電	主電動機	補機電動機	照明他	非常用発電装置	
1	6kV 3φ 3W	6kV 3φ 3W	200V 3φ 3W	200-100V 1φ 3W	無	用水機場
2	6kV 3φ 3W	6kV 3φ 3W	200V 3φ 3W	200-100V 1φ 3W	200V 3φ 3W	排水機場
3	6kV 3φ 3W	3kV 3φ 3W	200V 3φ 3W	200-100V 1φ 3W	無	用水機場
4	6kV 3φ 3W	3kV 3φ 3W	200V 3φ 3W	200-100V 1φ 3W	無	用水機場
5	6kV 3φ 3W	400V 3φ 3W	200V 3φ 3W	200-100V 1φ 3W	無	用水機場
6	6kV 3φ 3W	400V 3φ 3W	200V 3φ 3W	200-100V 1φ 3W	無	用水機場
7	6kV 3φ 3W	400V 3φ 3W	200V 3φ 3W	200-100V 1φ 3W	400V 3φ 3W	ダム・頭首工
8	6kV 3φ 3W	400V 3φ 3W	200V 3φ 3W	200-100V 1φ 3W	200V 3φ 3W	排水機場
9	6kV 3φ 3W	400V 3φ 3W	200V 3φ 3W	200-100V 1φ 3W	200V 3φ 3W	排水機場
10	6kV 3φ 3W	200V 3φ 3W	200V 3φ 3W	200-100V 1φ 3W	無	用水機場
11	6kV 3φ 3W	200V 3φ 3W	200V 3φ 3W	200-100V 1φ 3W	200V 3φ 3W	排水機場
12	200V 3φ 3W	200V 3φ 3W	200V 3φ 3W	200-100V 1φ 3W	無	用水機場
13	200V 3φ 3W	200V 3φ 3W	200V 3φ 3W	200-100V 1φ 3W	200V 3φ 3W	排水機場

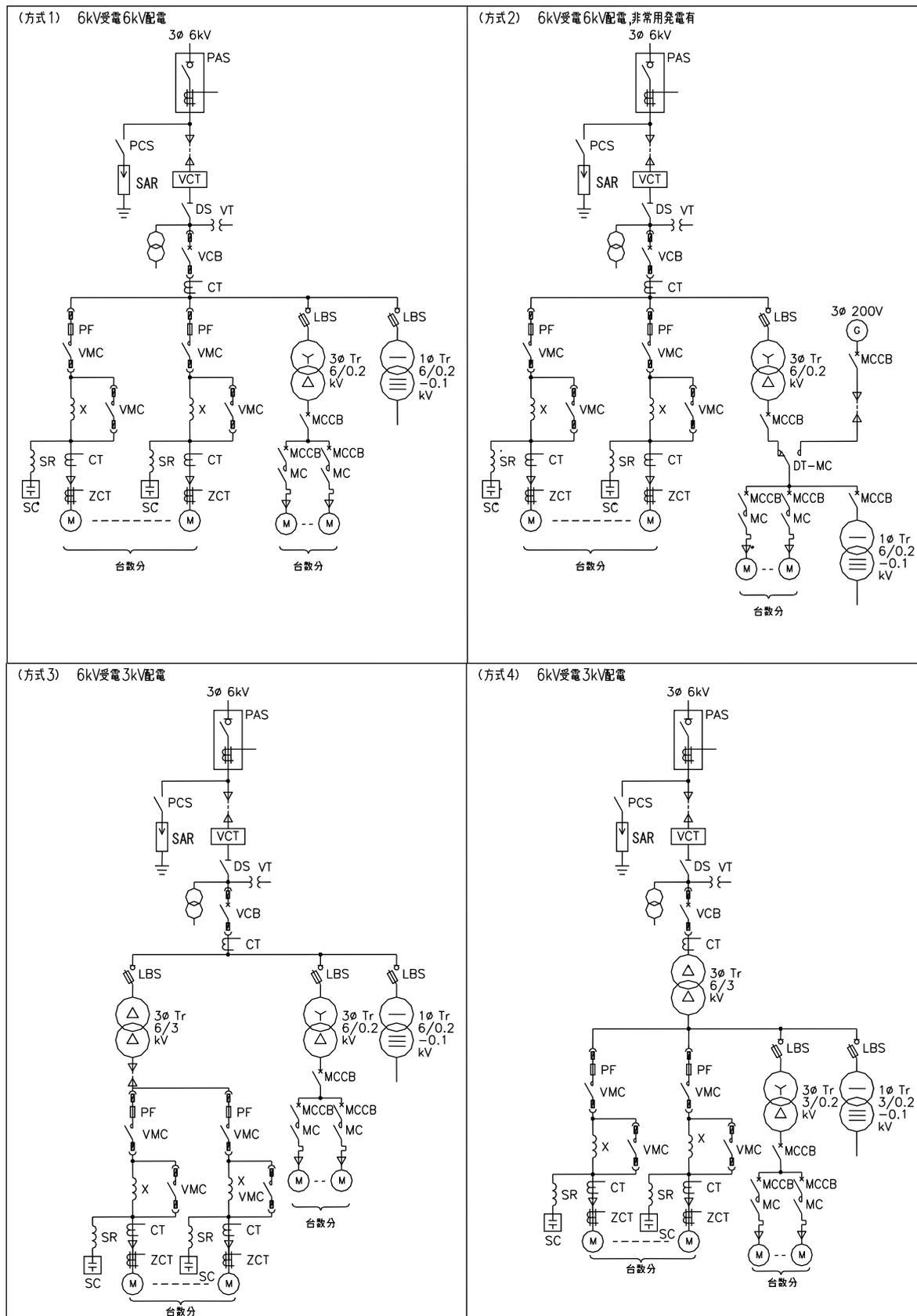


図 2.4-5 各種配電方式 (その1)

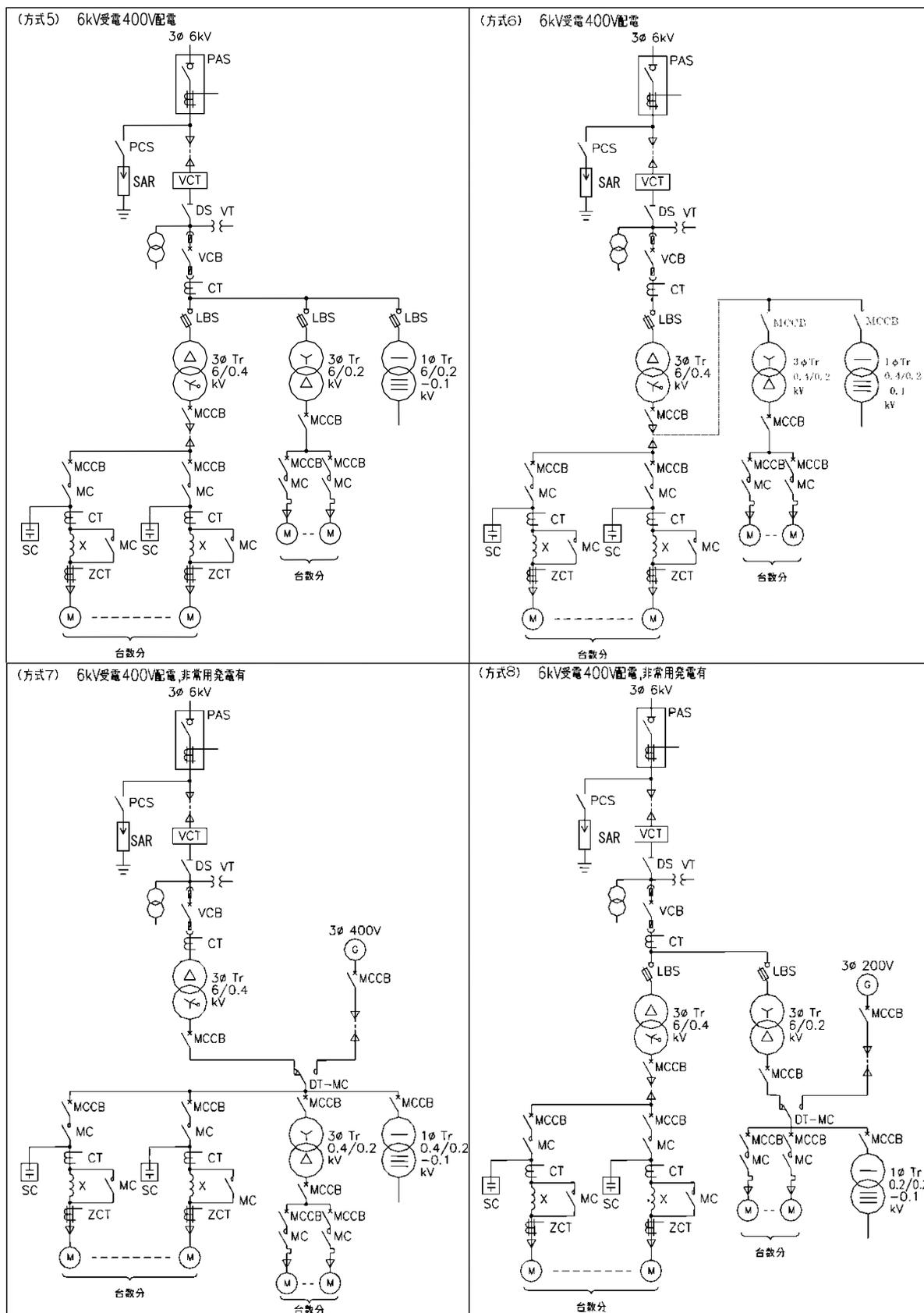


図 2.4-5 各種配電方式 (その2)

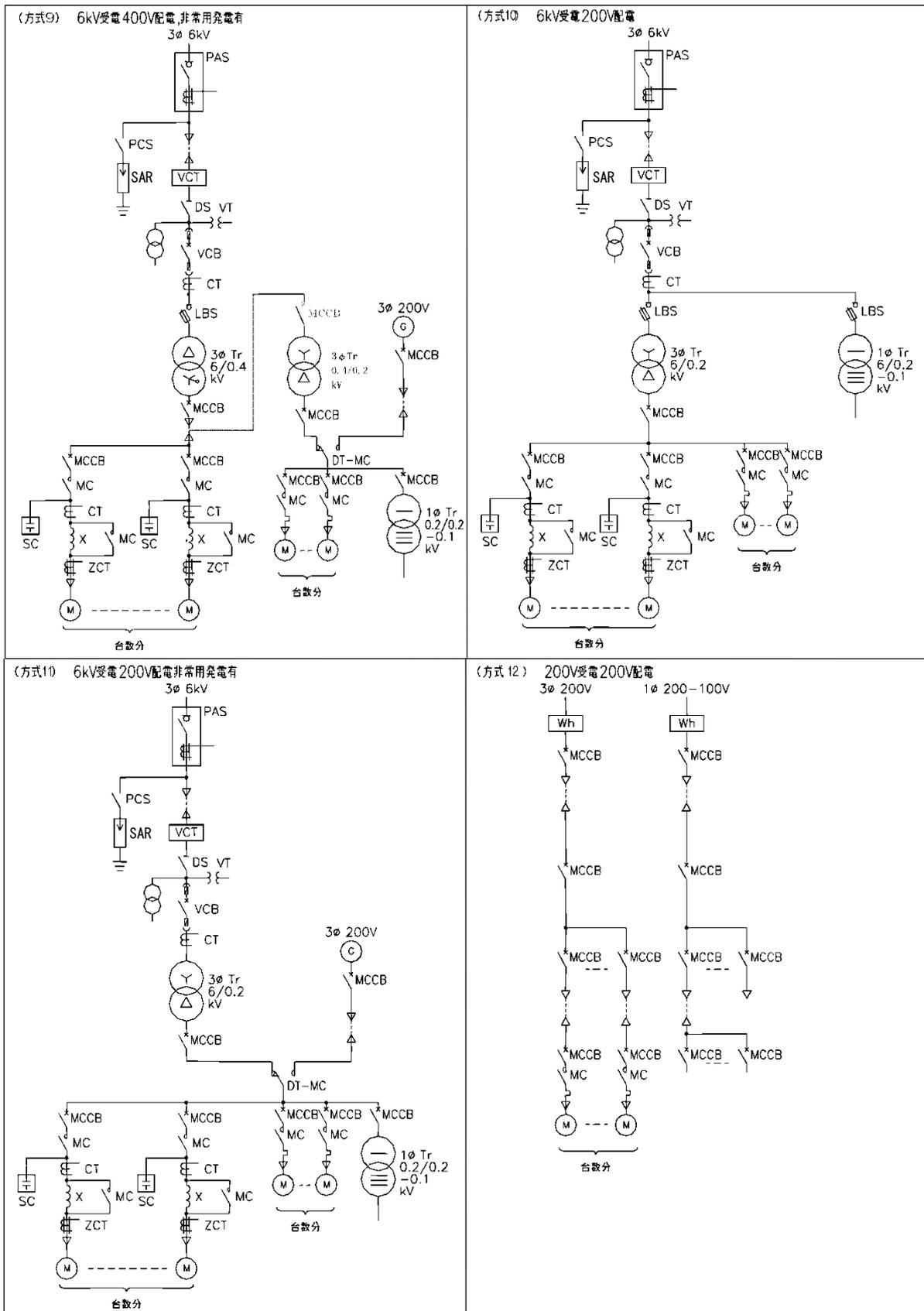


図 2.4-5 各種配電方式 (その3)

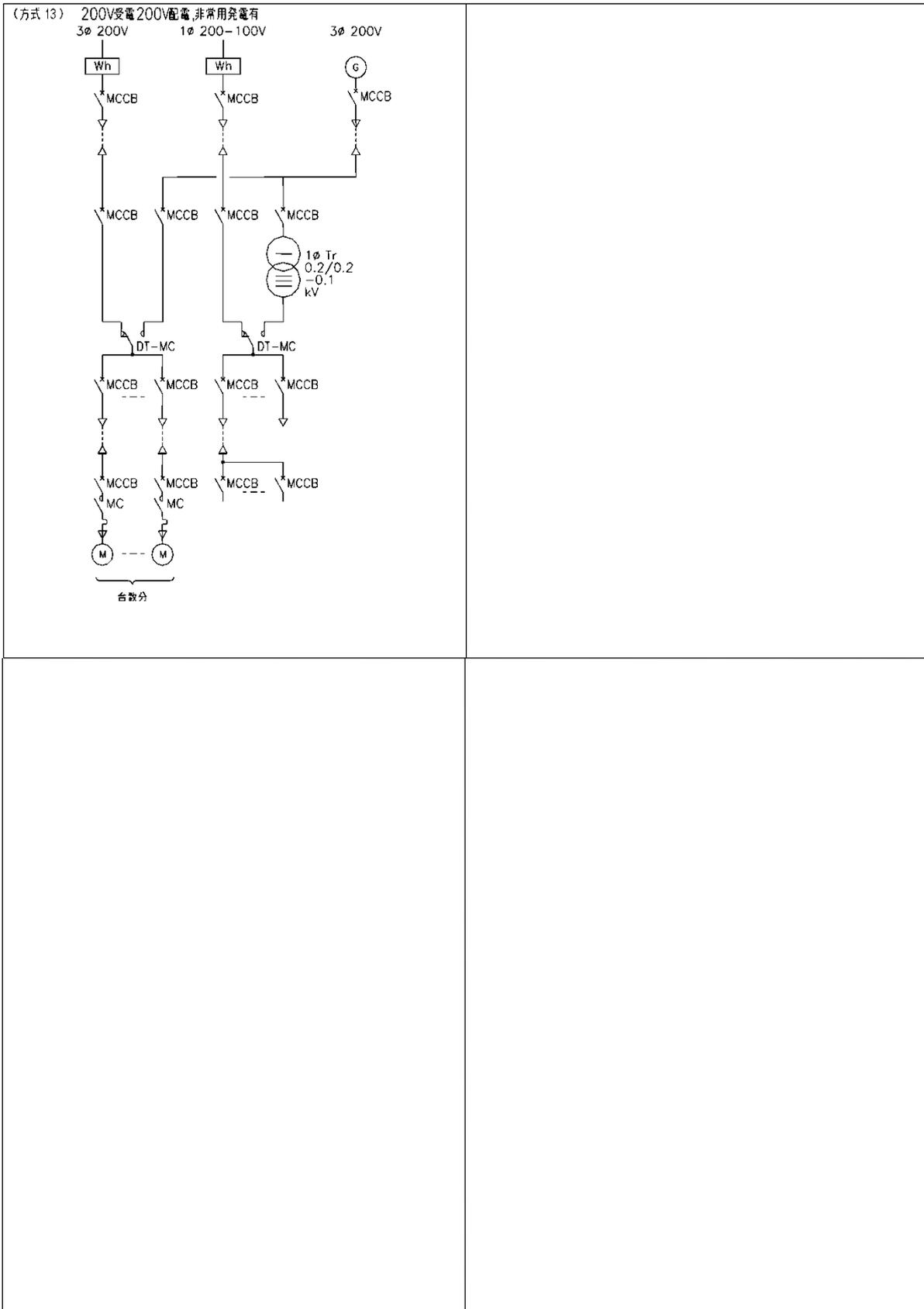


図 2.4-5 各種配電方式 (その4)

## 2.5 力率改善

### 2.5.1 力率改善の目的と電気料金の割引制度

#### (1) 目的

##### (a) 電力損失の低減

力率を改善すると線路を流れる電流が減少するので、線路損失が軽減されるとともに、変圧器の損失（銅損）も減少する。これにより線路損失、変圧器の容量が減少するため、設備容量に対して経済性を図ることができる。

##### (b) 電圧降下の改善

線路を流れる電流が減少することにより、線路における電圧降下も小さくなり、これにより安定的な電力供給ができる。

##### (c) 電気料金の割引

電力損失の低減、電圧降下の改善は需要家にとどまらず、特に広大な配電設備を持つ電力会社にとってもメリットが大きくなり、電力会社としても力率が改善された分について電気料金の割引を行うこととしている。

#### (2) 電気料金の割引制度

各電力会社の料金体系では次のように受電力率による基本料金の割引、割増し制度があるため、設備の設計に当たっては特別な事情がない限りコンデンサ設備の設置による力率改善を行うものとする。

##### ・ 低圧電力

電気機器の力率をそれぞれの入力によって加重平均して得た力率が 85 [%] を上回る場合は基本料金を 5 [%] 割引、85 [%] を下回る場合は 5 [%] 割増し。

##### ・ 高圧電力(A), (B)

力率が 85 [%] を上回る 1 [%] につき基本料金を 1 [%] 割引、下回る場合 1 [%] 割増し。

##### ・ 農事用電力

低圧電力又は高圧電力に準ずるものとする。

#### (3) 力率の決定方法（例 東京電力の場合）

##### (a) 低圧電力

個々の電気機器に対し表 2.5-5 低圧電動機の進相コンデンサ取付容量基準表に基づき、進相コンデンサが取付けてあるものは 90 [%]、取り付けていないものは 80 [%]、電熱器については 100 [%] とし、式 2.5-1 にて加重平均により力率を求める。

$$\text{加重平均力率} [\%] = \frac{100 [\%] \times (\text{電熱器総容量}) + 90 [\%] \times (\text{力率} 90 [\%] \text{ の機器総容量}) + 80 [\%] \times (\text{力率} 80 [\%] \text{ の機器総容量})}{\text{機器総容量}} \quad \dots \text{式} 2.5-1$$

(b) 高圧電力(A), (B)

電力会社にて有効電力量と無効電力量を受電点にて計測し、その1ヶ月のうち毎日午前8時から午後10時までの時間における平均力率を式2.5-2により求める。

$$\text{平均力率} = \frac{\text{有効電力量}}{\sqrt{(\text{有効電力量})^2 + (\text{無効電力量})^2}} \quad \dots \text{式} 2.5-2$$

(c) 農事用電力

農事用電力の力率は表2.5-1により決定する。

表 2.5-1 農事用電力の力率の決定方法

契約電力 (契約電力種別)	内 容
50 [kW] 未満 (低圧電力)	加重平均力率にて決定 (3) (a) 低圧電力を参照
50 [kW] 以上 500 [kW] 未満 (高圧電力 A)	負荷が最大と認められる時間の力率を基準として 電力会社と協議して決定
500 [kW] 以上 (高圧電力 B)	平均力率(式2.5-2)にて決定

注) 高圧電力については、電力会社により契約種別名が異なる。

### 2.5.2 高圧受電の場合の力率改善

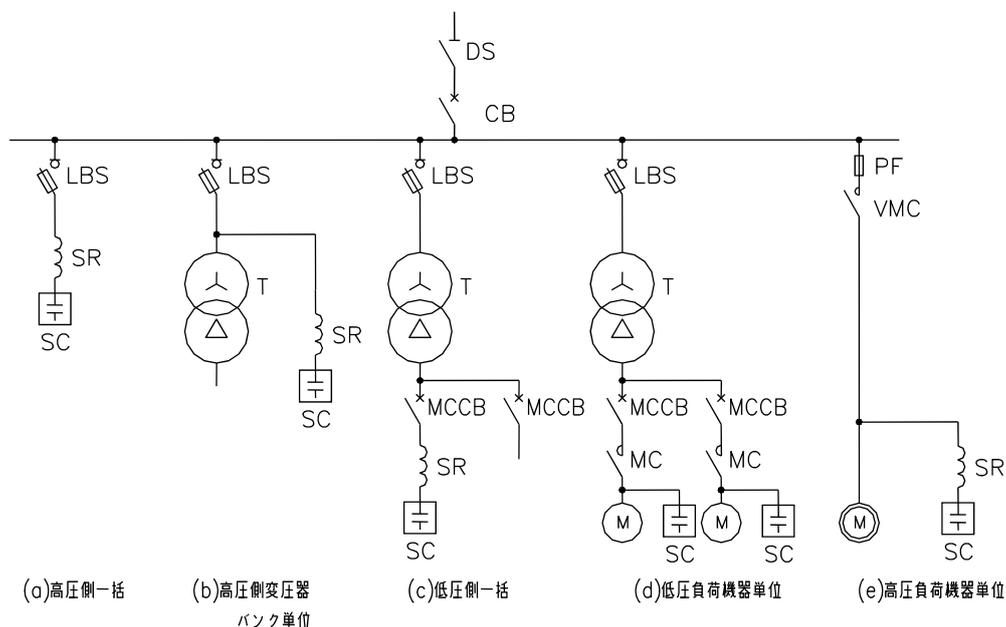
電気設備の負荷は、白熱電灯や電熱器のように、純抵抗に近い負荷（力率≒100 [%]）のほか、誘導電動機などの誘導負荷（力率≒50～80 [%]）が数多くあり、受電設備全体としては、力率が70～80 [%]程度となる。力率を改善する方法としては進相コンデンサを設置し、進み電流を供給し無効電流を低減させる。

高圧受電設備において進相コンデンサを設置する場合、その設置場所として図 2.5-1 に示すような方式がある。

進相コンデンサは本来力率を改善しなければならない負荷の近くに設置することが望ましいが（この場合、その効果が最大限に発揮される）、この方法はコンデンサを多数分散配置することになり、経済性が悪くなり、設置スペースあるいはメンテナンスなどが増加する等の問題がある。

したがって次のようにするのが一般的である。

- (a) 主電動機の力率改善は、電動機と並列に進相コンデンサを設置する。
- (b) 低圧補機の連続運転（バルブ、ゲート類は除く）負荷は、電動機と並列に進相コンデンサを設置する。
- (c) 変圧器の励磁補償や補機等の無効電力を補償する場合は、更に母線に進相コンデンサを一括設置する。



注) 高圧コンデンサは、メンテナンス、コンデンサ保護のために負荷開閉器を設ける。

図 2.5-1 進相コンデンサ施設方法例

(1) 電動機の力率改善

誘導電動機は、元来、負荷の軽い時ほど力率が悪く、全負荷に近づくと力率が良くなる。これは、電動機の有効電力が変化するにもかかわらず、無効電力がほぼ一定であるという誘導電動機の特性に起因するもので、この無効電力を打ち消すような容量の進相コンデンサを取り付ければ、力率は負荷の状態に関係なく常に 95 [%] ~ 100 [%] 近くに保つことができる。

図 2.5-2 はその一例を示す。したがって挿入すべき進相コンデンサの容量は、無負荷励磁に相当する無効電力分の進相容量から決めればよい。

計算方法は式 2.5-5 となる。

電動機直結の場合は進相コンデンサの容量を大きく取り過ぎると（励磁電流相当分以上）自己励磁現象を起し、電動機の端子電圧が定格以上に上る場合があるため、式 2.5-3 以下の容量とし無負荷電流が不明時は、電動機容量の 1/3 程度以下が望ましい。

$$P_c \leq \sqrt{3} \times V \times I_0 \times 10^{-3} \dots\dots \text{式 2.5-3}$$

$P_c$  : コンデンサ設備容量 [kvar]

$V$  : 定格電圧 [V]

$I_0$  : 無負荷電流 [A]

図 2.5-3 は、高圧誘導電動機の全負荷力率を 95 [%] に改善する場合の進相コンデンサ容量を示す。

また、簡易方法として表 2.5-3 と式 2.5-5 の取り扱いによって進相コンデンサの容量を決めても良い。

コンデンサ定格容量は次式により算出する。

$$\text{定格容量 [kvar]} = \frac{\text{定格設備容量 [kvar]}}{1 - \frac{L}{100}}$$

$L$  : コンデンサに組み合わせて使用する直列リアクトルの%リアクタンス

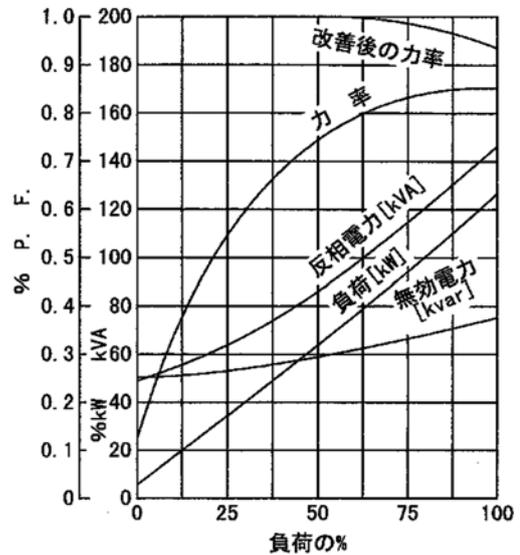


図 2.5-2 誘導電動機の特性と力率改善効果の一例

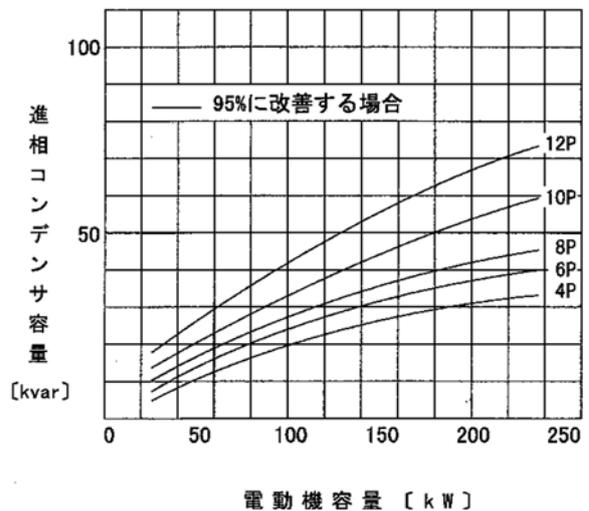


図 2.5-3 高圧三相誘導電動機に対する進相コンデンサ取付容量

(例) 電動機出力容量 100 [kW]

電動機効率 0.90

電動機力率 0.86

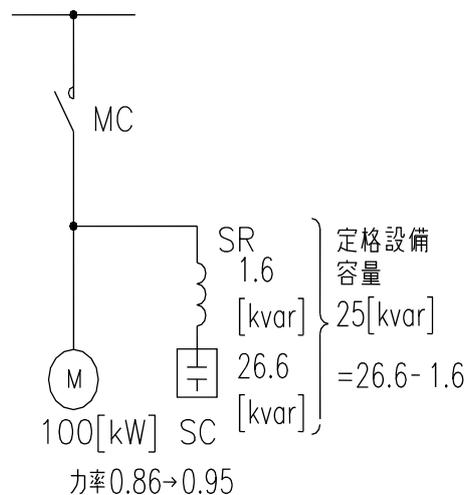
目標力率 0.95

表 2.5-3 より  $\alpha=0.264$

$100 \text{ [kW]} / 0.9 \times 0.264 = 29.3 \text{ [kvar]}$

進相コンデンサ定格設備容量は、25 [kvar]

の次は 30 [kvar] であるが、過大容量では自己励磁現象の発生の可能性もあるため 25 [kvar] を選定する。



進相コンデンサの容量算出

負荷力率を  $\cos \theta_0$  から  $\cos \theta_1$  まで改善するのに要する進相コンデンサの容量は、図 2.5-4 から分かるように、式 2.5-4 で求められる。

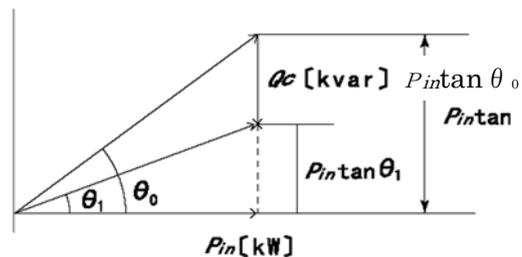


図 2.5-4 進相コンデンサの容量算出法

$$Q_c = P_{in} (\tan \theta_0 - \tan \theta_1)$$

$$= P_{in} \left[ \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \theta_0} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \theta_1} - 1} \right] \dots \dots \text{式 2.5-4}$$

$Q_c$  : 進相コンデンサ容量 [kvar]

$\theta_0$  : 改善前力率

$P_{in}$  : 負荷入力容量 [kW]

$\theta_1$  : 改善目標力率

$P_o$  : 負荷出力容量 [kW]

$\eta$  : 負荷効率

ただし、 $P_{in} = P_o / \eta$

力率の改善目標は電動機に個別に設置の場合のコンデンサ容量は 95% とし母線一括に設置の場合のコンデンサ容量は 98 %とする。また、このコンデンサの直近下位のコンデンサ標準容量とする。これは電力料金の低減と進相コンデンサの償却費が見合う値であり、最大負荷に対して力率を 100%とすると、軽負荷時には進み力率となり、自己励磁現象等により受電電圧の上昇などの不都合を生じるのである。

表 2.5-2 コンデンサ力率によるコスト比較

条件	負荷容量 200 [kVA]	改善前力率 0.8
目標力率	0.95	1
コンデンサ定格設備容量	100 [kvar]	150 [kvar]
コスト比較	100	130

表 2.5-3 に所要コンデンサ定格設備容量 [kvar] の有効電力 [kW] に対する割合を示す。

この表によれば、その都度計算を行うことなく

$$Q_c = P_{in} \times \alpha \dots\dots\dots \text{式 2.5-5}$$

として求められる。

(例) 負荷入力容量 150 [kW]  
 改善前の力率 0.85  
 目標とする力率 0.95  
 表 2.5-3 より  $\alpha = 0.291$  であるから  
 $150 [kW] \times 0.291 \approx 44 [kvar]$  となる。

したがって所要進相コンデンサ定格設備容量は 50 [kvar] を選定する。  
 また、進相コンデンサに 50 [kvar] を挿入した改善後の力率は、式 2.5-4 を変形して

$$\cos \theta_1 = \sqrt{\frac{1}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{(\cos \theta_0)^2} - 1} - \frac{Q_c}{P_{in}} \right\}^2 + 1}}$$

= 0.961

となる。  
 $\theta_1$  : 改善後力率  
 $\theta_0$  : 改善前力率  
 $Q_c$  : 進相コンデンサ定格設備容量 [kvar]  
 $P_{in}$  : 負荷入力容量 [kW]

表2.5-3 所要コンデンサ容量 [kvar] の有効電力 [kW] に対する割合 ( $\alpha$ )

改善前 力率 ( $\cos \theta_o$ )	改善後の力率 ( $\cos \theta_1$ )																				
	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
0.50	0.982	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.589	1.732
0.51	0.937	0.962	0.989	1.015	1.041	1.067	1.094	1.120	1.147	1.175	1.203	1.231	1.261	1.292	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
0.52	0.893	0.919	0.945	0.971	0.997	1.023	1.050	1.076	1.103	1.131	1.159	1.187	1.217	1.248	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
0.53	0.850	0.876	0.902	0.928	0.954	0.980	1.007	1.033	1.060	1.088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.270	1.308	1.349	1.397	1.457	1.600
0.54	0.809	0.835	0.861	0.887	0.913	0.939	0.966	0.992	1.019	1.047	1.075	1.103	1.133	1.164	1.196	1.230	1.267	1.308	1.356	1.416	1.559
0.55	0.769	0.795	0.821	0.847	0.873	0.899	0.926	0.952	0.979	1.007	1.033	1.063	1.093	1.124	1.156	1.190	1.227	1.268	1.316	1.376	1.519
0.56	0.730	0.756	0.782	0.808	0.834	0.860	0.887	0.913	0.940	0.968	0.996	1.024	1.054	1.085	1.117	1.151	1.188	1.229	1.277	1.337	1.480
0.57	0.692	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.849	0.875	0.902	0.930	0.958	0.986	1.016	1.047	1.079	1.113	1.150	1.191	1.239	1.299	1.442
0.58	0.655	0.681	0.707	0.733	0.759	0.785	0.812	0.838	0.865	0.893	0.921	0.949	0.979	1.010	1.042	1.076	1.113	1.154	1.202	1.262	1.405
0.59	0.619	0.645	0.671	0.697	0.723	0.749	0.776	0.802	0.829	0.857	0.885	0.913	0.943	0.974	1.006	1.040	1.077	1.118	1.166	1.226	1.369
0.60	0.583	0.609	0.635	0.661	0.687	0.713	0.740	0.766	0.793	0.821	0.849	0.877	0.907	0.938	0.970	1.004	1.041	1.082	1.130	1.190	1.333
0.61	0.549	0.575	0.601	0.627	0.653	0.679	0.706	0.732	0.759	0.787	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.156	1.299
0.62	0.516	0.542	0.568	0.594	0.620	0.646	0.673	0.699	0.726	0.754	0.782	0.810	0.840	0.871	0.903	0.937	0.974	1.015	1.063	1.123	1.266
0.63	0.483	0.509	0.535	0.561	0.587	0.613	0.640	0.666	0.693	0.721	0.749	0.777	0.807	0.838	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	0.451	0.477	0.503	0.529	0.555	0.581	0.608	0.634	0.661	0.689	0.717	0.745	0.775	0.806	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201
0.65	0.419	0.445	0.471	0.497	0.523	0.549	0.576	0.602	0.629	0.657	0.685	0.713	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.918	0.966	1.026	1.169
0.66	0.388	0.414	0.440	0.466	0.492	0.518	0.545	0.571	0.598	0.626	0.654	0.682	0.712	0.743	0.775	0.809	0.846	0.887	0.935	0.995	1.138
0.67	0.358	0.384	0.410	0.436	0.462	0.488	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.965	1.108
0.68	0.328	0.354	0.380	0.406	0.432	0.458	0.485	0.511	0.538	0.566	0.594	0.622	0.652	0.683	0.715	0.749	0.786	0.827	0.875	0.935	1.078
0.69	0.299	0.325	0.350	0.377	0.403	0.429	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.906	1.049
0.70	0.270	0.296	0.322	0.348	0.374	0.400	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.564	0.594	0.625	0.657	0.691	0.728	0.769	0.817	0.877	1.020
0.71	0.242	0.269	0.294	0.320	0.346	0.372	0.399	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.214	0.240	0.266	0.292	0.318	0.344	0.371	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.186	0.212	0.238	0.264	0.290	0.316	0.343	0.369	0.396	0.424	0.452	0.480	0.510	0.541	0.573	0.607	0.644	0.685	0.733	0.793	0.936
0.74	0.159	0.185	0.211	0.237	0.263	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.158	0.184	0.210	0.236	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.399	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.604	0.652	0.712	0.855
0.77	0.079	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.236	0.262	0.289	0.317	0.345	0.373	0.403	0.434	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.78	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.209	0.235	0.262	0.290	0.318	0.346	0.376	0.407	0.439	0.473	0.510	0.551	0.599	0.653	0.802
0.79	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.633	0.776
0.80	0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.609	0.750
0.81		0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82			0.000	0.026	0.052	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.555	0.698
0.83				0.000	0.026	0.052	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.529	0.672
0.84					0.000	0.026	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85						0.000	0.026	0.053	0.080	0.108	0.136	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86							0.000	0.026	0.053	0.081	0.109	0.137	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.342	0.390	0.450	0.593
0.87								0.000	0.027	0.055	0.083	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88									0.000	0.000	0.056	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89										0.000	0.028	0.058	0.086	0.117	0.149	0.183	0.220	0.261	0.309	0.369	0.512
0.90											0.000	0.028	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.233	0.281	0.341	0.484
0.91												0.000	0.030	0.061	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456
0.92													0.000	0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426
0.93														0.000	0.032	0.066	0.103	0.144	0.192	0.252	0.395
0.94															0.000	0.034	0.071	0.112	0.160	0.220	0.363
0.95																0.000	0.037	0.079	0.126	0.186	0.329
0.96																	0.000	0.041	0.089	0.149	0.292
0.97																		0.000	0.048	0.108	0.251
0.98																			0.000	0.060	0.203
0.99																				0.000	0.143
																					0.000

(2) 変圧器無効励磁分の力率改善

変圧器は、励磁容量(磁束を発生させるために必要な容量)として定格容量の数%程度の遅れ無効電力を必要とする。この遅れ無効電力を補償するために必要な進相コンデンサ容量は式 2.5-6 で求める。

$$Q_{CT} = P_T \times \beta \quad \dots\dots\dots \text{式 2.5-6}$$

$Q_{CT}$  : 変圧器励磁分改善進相コンデンサ設備容量 [kvar]

$P_T$  : 変圧器定格容量 [kVA]

$\beta$  : 励磁分容量比 (変圧器の無負荷電流 (%))

変圧器専用に接続する進相コンデンサ (図 2.5-1 の(b)の場合) は、電動機等の負荷がほとんど運転しない設備に適用し容量は、式 2.5-6 で求めた容量とする。また、変圧器の無負荷励磁電流値は第7章の参考資料を参照する。

(3) 高圧母線での力率改善

高圧母線で総合的に負荷の力率改善を行う場合母線に接続する進相コンデンサは図 2.5-1 の(a)に示すように設置進相コンデンサ容量は負荷の無効電力分と変圧器の励磁分の値を加えた容量とする。

(4) 直列リアクトルの設置

進相コンデンサを回路に投入した場合コンデンサに高調波が流入し高調波電流により回路電圧波形のひずみを増幅させるためこれを低減させるためコンデンサと直列にリアクトルを挿入する。次数としては第3、第5、第7、第11高調波などであり、三相交流配電で最も含有量の多い第5高調波の対策を行う。また、高圧回路ではすべてリアクトルを挿入する。(JEAC8001(2016) 3805節)

低圧進相コンデンサを各負荷に供用して取り付ける場合は、直列リアクトルを挿入する。(JEAC8001 (2016) 3335節)

第5高調波に共振するリアクタンスは、式 2.5-7 で表わされる。

$$5\omega L = \frac{1}{5\omega C} \quad \omega = 2\pi f$$

$$\omega L = \frac{1}{25\omega C} = 0.04X_c \quad \dots\dots\dots \text{式 2.5-7}$$

$f$  : 周波数

$X_c$  : コンデンサの基本波リアクタンス

したがって、第5次の高調波に対して共振せず、かつ、誘導性とするために直列リアクトル容量をL=6 [%] とする。

直列リアクトル許容電流種別は、基本的に特別高圧受電設備はⅠ種、高圧配電系統及び低圧で使用するリアクトルはⅡ種とし、表 2.5.4 にⅠ種・Ⅱ種の詳細を示す。しかし、電源系統に第3高調波の影響が無視できない場合や第5高調波電圧のひずみが大きい場合には、コンデンサ定格容量の6 [%] にて第5高調波含有率70 [%] まで許容できる直列リアクトル、又は13 [%] の直列リアクトルが用いられる。

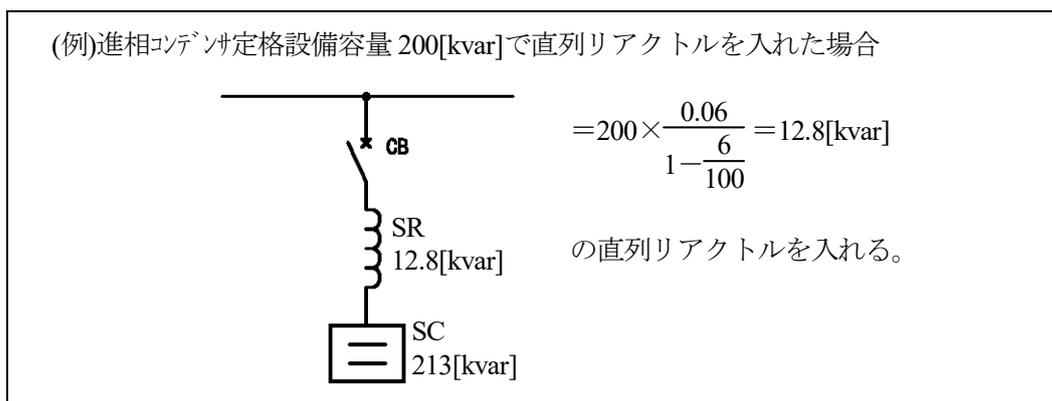


表 2.5-4 最大許容電流

JIS C 4902(2010) (高圧及び特別高圧進相コンデンサ及び付属装置)

許容電流種別	最大許容電流 (定格電流比(%))	第5調波含有率 (基本波電流比 (%))
Ⅰ	120	35
Ⅱ	130	55

注) 高圧受電設備における低圧で使用するリアクトルは本規格に準用され、Ⅱが一般的に採用されている。(JIS C 4902 附属書 1 の 1. 備考 1)

2.5.3 低圧受電の場合の力率改善

低圧受電における進相コンデンサに関しては、内線規程〔J E A C 8001(2016)3335 節〕に詳細に規定されており、すべての負荷に対して進相コンデンサを設ける。

低圧進相コンデンサを個々の負荷に取付ける場合の施設

1. 低圧進相コンデンサを個々の負荷に取付ける場合には、次による。

①コンデンサの容量は、負荷の無効分より大きくしないこと。

〔注〕低圧進相コンデンサ取付容量基準については、表 2.5-5 参照のこと。

②コンデンサは、手元開閉器又はこれに相当するものよりも負荷側に取付けること。

〔注〕電流計のある場合は、電流計の電源側より分岐するのを原則とする。

③本線から分岐し、コンデンサに至る電路には、開閉器などを施設しないこと。

2. 低圧進相コンデンサには、残留電荷を短時間に放電する放電抵抗器付コンデンサを使用する。

やむを得ず 2 台以上の電動機に進相コンデンサを取付ける場合の進相コンデンサ容量は、各電動機の定格出力に対応する進相コンデンサの容量の合計値とする。

表 2.5-5 低圧電動機の見相コンデンサ取付容量基準表

200V、400V 取付容量は JEAC8001(2016)付録より記載

電動機 定格出力 (200V)		馬力表示の もの	1/4	1/2	1	2	3	5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	75			
		kW 表示の もの	0.2	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	5.5	7.5	11	15	18.5	22	30	37	45	55			
コンデ ンサ取 付容量 【μF】	2極	50Hz	—	—	30	40	50	75	100	150	200	250	300	300	500	600	750	1000			
		60Hz	—	—	20	30	40	50	75	100	150	150	200	250	300	400	400	600			
	4極	50Hz	—	—	40	75	100	150	200	250	300	400	500	800	900	1200	1400	1400			
		60Hz	—	—	30	40	50	75	100	150	200	250	300	400	500	700	800	900			
	6極	50Hz	—	—	50	100	100	150	300	300	500	500	700	800	1200	1300	1500	1900			
		60Hz	—	—	30	50	75	100	150	200	300	300	400	400	500	750	900	1100			
電動機 定格出力 (400V)		馬力表示の もの	1/4	1/2	1	2	3	5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	—	—	—
		kW 表示の もの	0.2	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	5.5	7.5	11	15	18.5	22	30	37	45	55	75	90	110
コンデ ンサ取 付容量 【μF】	2極	50Hz	—	—	7.5	10	15	20	25	40	50	50	75	75	125	150	150	250	300	400	600
		60Hz	—	—	5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	50	75	100	100	150	200	250	300
	4極	50Hz	—	—	10	20	25	30	50	50	75	100	125	200	200	300	300	500	700	800	
		60Hz	—	—	7.5	10	15	20	30	40	50	50	75	100	125	150	200	200	300	400	500
	6極	50Hz	—	—	10	25	30	40	75	75	125	125	150	200	300	300	400	600	900	1100	
		60Hz	—	—	7.5	15	20	25	40	50	75	75	100	100	125	150	200	250	300	500	600

2.5.4 自動力率制御

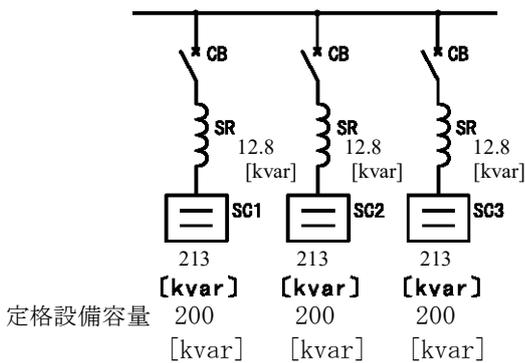
自動力率制御は、回転数制御(液体抵抗器等)を行い連続して自動制御を行い頻繁に力率が変動する場合検討を要するが、これまで農業水利施設で採用された実績は少ない。

なお、自動力率制御を行う場合はコンデンサ盤の設置の検討を行う。

母線に進相コンデンサを集中設置した場合、その総定格設備容量が300[kvar]を超過した場合は進相コンデンサを2群以上のバンクに分割し、かつ、負荷変動に応じて接続する進相コンデンサを開閉し設備全体の力率の改善を行う。また、この開閉は一般的に負荷の無効電力を検出し、常に負荷の無効電力に等しいコンデンサ容量を投入し制御を行う。

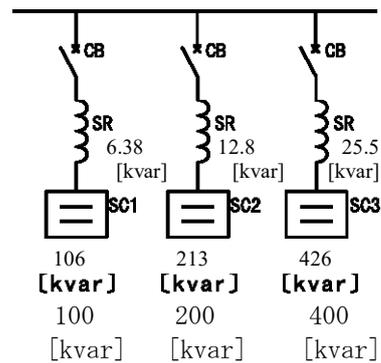
バンク分割はコンデンサを2群以上に分割して自動制御を行う場合、総容量を均等に分割する等容量分割と異容量のコンデンサを組み合わせた異容量分割があり、前者は、同一容量のためサイクリック制御ができ、各コンデンサが均等に投入することができる反面、異容量と比較して制御幅が粗くなる。

また、後者は、異容量のコンデンサを組み合わせるため、制御幅が細かい反面、特定のコンデンサの開閉頻度が高くなる。



コンデンサ 定格設備容量 [kvar]	SC1	SC2	SC3
無効電力 [kvar]			
200	入	切	切
400	入	入	切
600	入	入	入
400	切	入	入
200	切	切	入

図 2.5-5 等容量分割



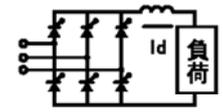
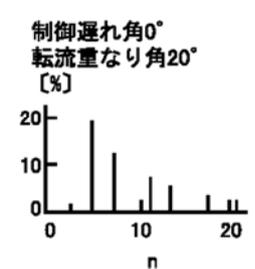
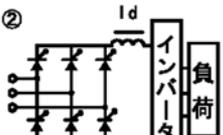
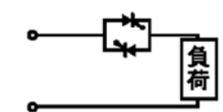
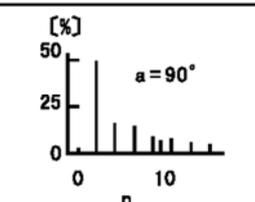
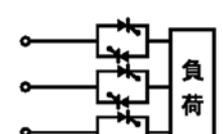
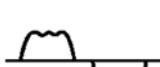
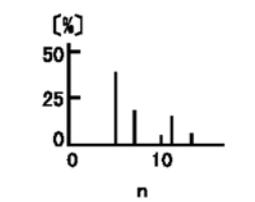
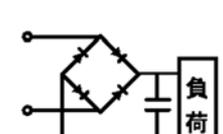
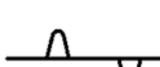
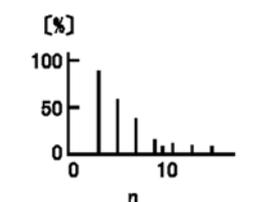
コンデンサ 定格設備容量 [kvar]	SC1	SC2	SC3
無効電力 [kvar]			
100	入	切	切
200	切	入	切
300	入	入	切
400	切	切	入
500	入	切	入
600	切	入	入
700	入	入	入

図 2.5-6 異容量分割



表 2.6-1 に高調波発生機器の代表例を示す。

表 2.6-1 高調波発生機器の代表例

	電源回路種別	交流側入力電流波形例	入力電流の高調波電流成分の例 (基本波成分を100 [%]とする)	代表的な適用例
三相整流回路	① 		制御遅れ角 $0^\circ$ 転流重なり角 $20^\circ$ [%] 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 電解用整流器</li> <li>• 電気鉄道</li> <li>• 充電器</li> <li>• 一般直流電源</li> </ul>
	② 			<ul style="list-style-type: none"> <li>• VVVF</li> <li>• UPS</li> <li>• 高周波加熱装置</li> </ul>
電力調整回路	③ 		[%] $a = 90^\circ$ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 調光器</li> <li>• 熱機器の温度調整</li> </ul>
	④ 		[%] 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 交流可変速駆動 (一次電圧制御)</li> <li>• 電気炉などの加熱制御</li> </ul>
単相整流コンデンサ平滑回路	⑤ 		[%] 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• テレビ受像機</li> <li>• オーディオ機器</li> <li>• パソコン</li> <li>• 電気調理器</li> <li>• ルームエアコン</li> </ul>

2.6.2 高調波の機器に対する影響

表 2.6-2 に高調波の機器に対する影響を示す。

表 2.6-2 高調波の機器に対する影響

機 器 名	影 響 の 種 類
コンデンサ及びリアクトル	・高調波電流に対する回路のインピーダンスが共振現象などにより減少し、過大電流が流入することによる、過熱、焼損、あるいは振動、うなりの発生
変 圧 器	・高調波電流による鉄心の磁歪(じわい)現象によるうなり(騒音)の発生 ・高調波電流・電圧による鉄損、銅損の増加に伴う容量の減少
蛍 光 灯	・高調波電流に対するインピーダンスが減少し過大電流が力率改善用コンデンサやチョークコイルに流れることによる過熱・焼損
ケ ー ブ ル	・三相4線式回路の中性線に高調波電流が流れることによる中性線の過熱
通 信 線	・電磁誘導による雑音電圧の発生
誘 導 電 動 機	・高調波電流による定常振動トルクの発生により回転数の周期的変動 ・鉄損・銅損の損失の増加
計 器 用 変 成 器	・計器用変成器に初期位相誤差がある場合、 $\pm \delta \tan \theta$ ( $\theta$ はサイリスタ位相制御など制御電流の位相角)の影響により測定精度の悪化
積 算 電 力 計	・電圧・電流有効磁束が非線形特性により磁束変化が完全に対応しないことによる測定誤差 ・高調波電流の過大流入による電流コイルの焼損
音響機器(テレビ・ラジオ・アンプ)	・高調波電流・電圧によるダイオード、トランジスタ、コンデンサなど部品の故障、寿命の低下、性能の劣化 ・雑音、映像のちらつき
電 子 計 算 機	・計算機動作に悪影響
整流器などの各種制御装置	・制御信号の位相のずれによる誤制御など
負荷集中制御装置	・制御信号の乱れによる受信器の誤不動作
継 電 器	・高調波電流あるいは電圧による設定レベルの超過あるいは位相変化による誤不動作
電 力 ヒ ュ ー ズ	・過大な高調波電流による溶断
ノ ー ヒ ュ ー ズ ブ レ ー カ	・過大な高調波電流による誤動作

出展 電気学会技術報告(Ⅱ部)第64号より

2.6.3 高調波対策

高調波対策は、電力系統に高調波を発生する機器が、お互いに他の機器の正常な運転を妨げないようにし、電力系統の電気の品質を良好に保つため高調波対策を行うことが必要となっており、これらの対策について以下に例をあげる。なお、これらの方式は2.6.4で述べるガイドラインの計算において総合的に検討する必要がある。

(1) 発生機器側での対策

- (a) 順変換にPWM等価正弦波制御方式を使用した高調波発生量の少ないVVVF方式を選定する。(図2.6-2 参照)
- (b) 順変換に直列リアクトルを入れる。(図2.6-3 参照)
- (c) 整流方式の多相化。

整流相数が多いほど高次の高調波のみとなり、発生高調波量については次数が高い程少なくなるため、多相化することにより発生量を抑制することができる。(図2.6-4 参照)

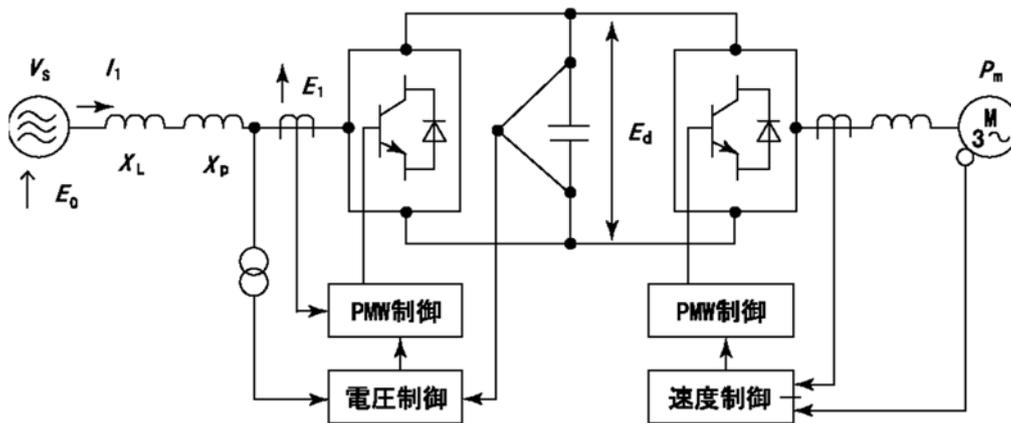


図 2.6-2 PWM等価正弦波制御方式

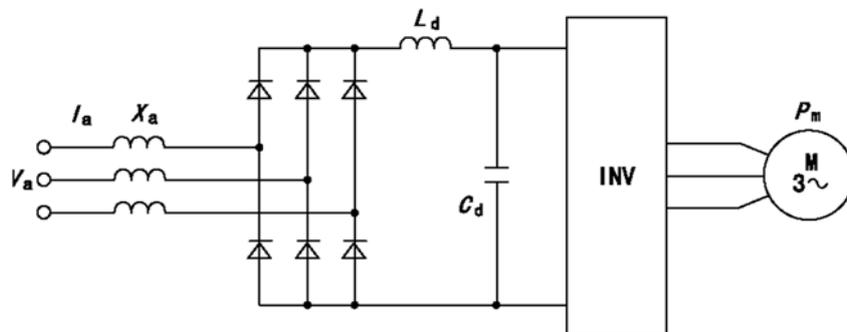


図 2.6-3 三相ブリッジ整流器 (リアクトル)

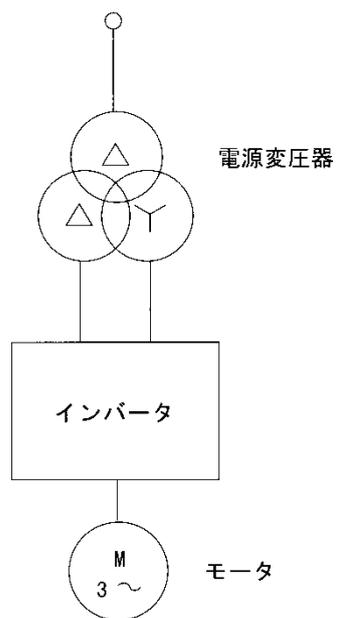


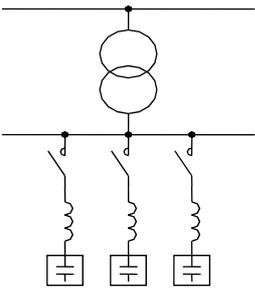
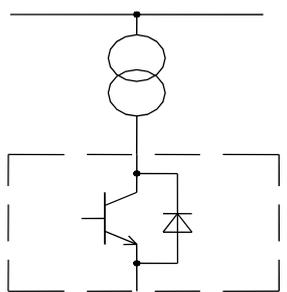
図 2.6-4 12相パルス変換方式

(2) フィルタでの対策

半導体応用機器から発生する高調波電流をフィルタにより吸収し、フィルタ接続点より上位系統の電圧歪を抑制できる。また、フィルタには、交流フィルタ（LCフィルタ）とアクティブフィルタがある。

LCフィルタとアクティブフィルタの比較を表 2.6-3 に示す。

表 2.6-3 LCフィルタとアクティブフィルタの比較

項番	比較項目	LCフィルタ	アクティブフィルタ
1	回路構成		
2	配電系統との共振	共振する可能性がある	なし
3	高調波次数	設計次数に対応し、段階的	第2次から第25次まで
4	フィルタ个数	次数毎にフィルタが必要	連続的に吸収できる為1台で対応可能
5	系統条件変更時	共振条件によって変更が必要	変更不要
6	系統周波数変化時の抑制量	共振条件によって低下することがある	不変
7	予想以上の高調波発生時	過負荷となり運転停止に至ることがある。	設置定格以内で運転継続（自己容量内でのみ動作）
8	電源側高調波	電源側も吸収し過負荷となることもある	関係しない。（対象とする負荷側高調波のみを抑制する）
9	発電機運転による電源側高インピーダンス時	問題なし	抑制分の高調波が負荷側に流れるおそれがある
10	設備容量	基本波容量も含まれるため大きくなる	高調波容量のみ
11	設置面積	100	80
12	コスト比較 VVVF(75kVA)負荷	LCフィルタ 100 とする (5、7、11次対象)	600

[注]アクティブフィルタの下部に進相コンデンサがある場合は、電流検出にコンデンサ電流を含めないような処置をすること。

(3) その他の対策

半導体応用機器から発生する高調波電流と電源側のインピーダンスによる電圧降下が電圧歪となる。半導体応用機器を接続する系統をインピーダンスの小さい上位系統にすると、電圧歪を抑制することができる。

この例では、電圧歪を抑えて高調波における機器誤動作防止には有効であるが絶対的な発生量が減少していないため高調波ガイドラインの計算上では制御したことはない。

図 2.6-5 に変換装置の接続系統を 400 [V] 系から上位の 6 [kV] 系に接続替えした例を示す。

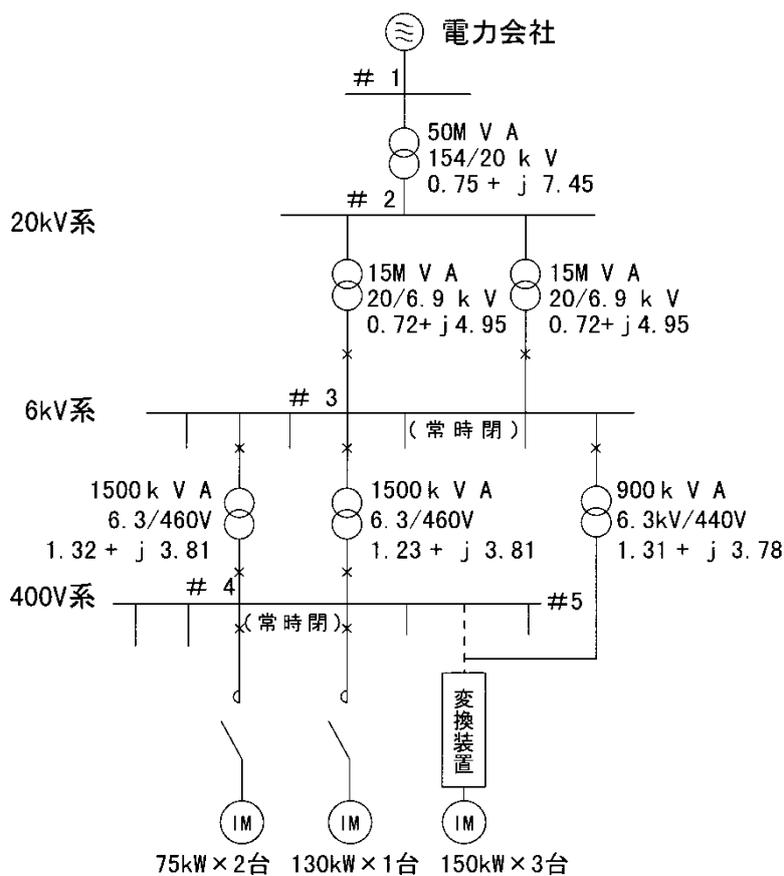


図 2.6-5 系統図

### 2.6.4 高調波電流の計算方法

高調波電流の計算方法の代表例として資源エネルギー庁「高圧又は特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイドライン」適合判定の計算例及び図 2.6-6 にフローチャートを示す。

このガイドラインは、電気事業法に基づく技術基準を遵守した上で、商用電力系統（以下「系統」という。）の高調波環境目標レベルをふまえて、系統から高圧又は特別高圧で受電する需要家において、その電気設備を使用することにより発生する高調波電流を抑制するために技術要件を示したものである。

#### (1) 第1ステップ（等価容量による判定）

高調波発生機器の名称、製造業者、形式、定格容量、台数、回路分類、換算係数等を記入し、検討要否の判定を行う。検討要の場合は、各機器の6パルス等価容量を計算し、その合計を算出する（高調波流出電流計算書（その1））。その結果が表 2.6-4 の値を超えた時は第2ステップの計算を行う。

表 2.6-4 6パルス等価容量の上限値

受電電圧	6.6 [kV]	22～33 [kV]	66 [kV] 以上
6パルス等価容量合計値	50 [kVA] 超過	300 [kVA] 超過	2,000 [kVA] 超過

#### (2) 第2ステップ（高調波流出電流による判定）

受電電圧換算の定格電流を算出し、機器最大稼働率及び各機器の高調波発生率により次数別高調波流出電流を算出し、契約電力による高調波流出上限値と比較し対策の要否の判定を行う。（高調波流出電流計算書（その1））

対策要の判定が出たら（高調波流出電流計算書（その2））を行う。

高調波を低減させる回路（力率調整用コンデンサ等）を考慮した高調波流出電流の計算を行い、再度対策の要否の判定を行う。

また、対策の判定が要となった場合は、LCフィルタ、アクティブフィルタ等により追加対策を考慮し、再度高調波流出計算を行い、高調波流出上限値を超過しない対策をとる。

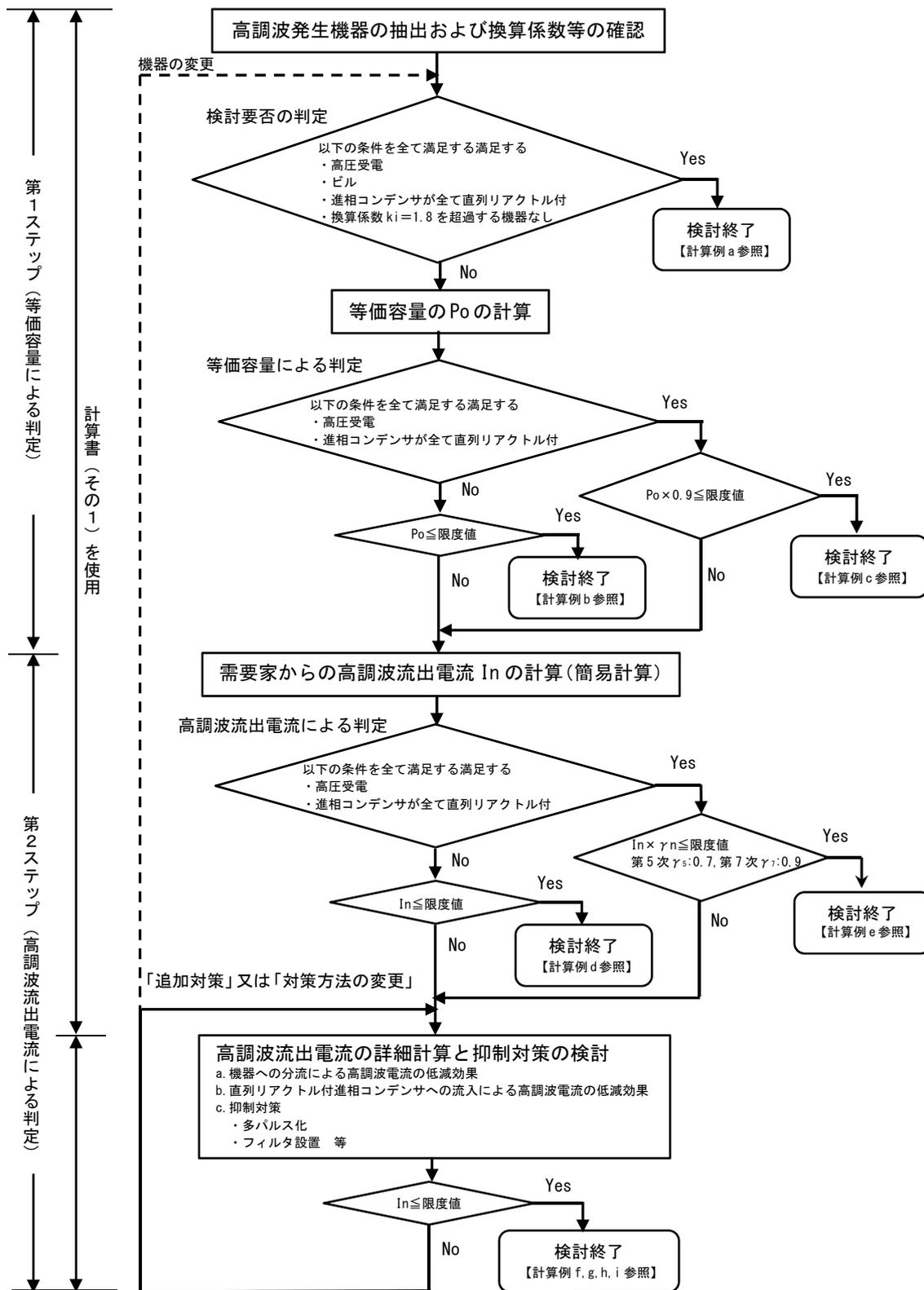


図 2.6-6 「高調波抑制対策ガイドライン」適合判定のフローチャート  
(高調波抑制対策技術指針 (日本電気協会) より抜粋)

様式 2.6-1 高調波流出電流計算書記入例 1 (高調波抑制対策技術指針 (日本電気協会) より抜粋)

お客さま名 ○○ビル

業務所 事務所

受電電圧 5.6 kV

契約電力相当値 ① 220 kW

補正率β 1

※1

申込年月日 年 月 日

受付No. 年 月 日

交付年月日 年 月 日

高調波流出電流計算書(その1)

No.	高調波発生機器		相数	② ※2 ⑤ 定額入力容量 [kVA]		⑥ 回路種別No.	⑦ ⑧ ⑨ 換算係数 Ki	⑩ ⑪ ⑫ 等価容量 [kVA]	⑬ ⑭ ⑮ 定額入力電流 [mA]	⑯ ⑰ ⑱ 最大線路率 k	第2ステップ ⑩ × ⑮ × 高調波発生量 × ⑯									
	機器名称	製造業者		型式	容量 [kVA]						容量 (合計) [kVA]	容量 [kVA]	回路種別No.	換算係数 Ki	定額入力電流 [mA]	最大線路率 k	5次	7次	11次	13次
1	ビルマルチエアコン	*****	*****	3	13.1	6	78.6	33	1.8	141.5	55	1,135	492							
2	エレベーター	*****	*****	3	6.77	1	6.77	31	3.4	23.0	25	96	61							
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				

⑬ = Σ ⑬

⑭ = ⑬ × 0.9 (1かつ皿に該当する場合)

⑮ 限度値 [kVA]

第2ステップの検討要否判定

⑯ 合計 P<sub>0</sub>

⑰ 合計 I<sub>n</sub>

⑱ ⑬ × β

⑲ ⑱ × γ<sub>n</sub>

⑳ ⑲ × γ<sub>n</sub>

㉑ 対策要否判定 要 要

高調波流出電流の上限値

⑳ = 契約電力相当値 IAW 当たりの高調波流出電流の上限値 × ⑱

上限値 [mA]

5次 7次 11次 13次 17次 19次 23次 25次

770 550

※1 「ビル」の規模による補正率βをいう。

※2 高圧受電のビルであって契約電力相当値が2,000kW以下の場合、βに表202-3-3の値を適用する。これ以外のビルは電力会社との協議によりβを決定する。また、ビル以外の場合は、1を適用する。

※3 詳細には、⑫に基本入力容量、⑬に基本入力電流を用いて計算することが望ましいが、定額入力容量、定額入力電流を用いて計算してもよい。

作成者

○○電気工事 ○○太郎

様式 2.6-2 高調波流出電流計算書記入例 2 (高調波抑制対策技術指針(日本電気協会)より抜粋)

お客さま名	〇〇ビル	業種	事務所	受電電圧	6.6 kV	契約電力相当値	220 kW	補正係数β	1
<様式-2>									
				申込年月日		年 月 日			
				受付年月日		年 月 日			

**高調波流出電流の詳細計算と抑制対策の検討**

高調波流出電流の計算過程を具体的に記載する。

1. 機器への分派  
計算法は自注とする。  
受電点から見た電力系統側の第5次高調波インピーダンス

$$Z_{S5} = jX_{S5} = j \frac{V_s}{\sqrt{3}I_s} \times n = j \frac{6.6 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 12.5 \times 10^3} \times 5 = j1.524 \text{ [}\Omega\text{]}$$

直列リアクトル付進相コンデンサの第5次高調波インピーダンス

$$Z_{LC5} = jX_{L5} + jX_{C5} = j \frac{10^3 K^2}{Q_c} \times \left( \frac{\%L}{100} \times n - \frac{1}{n} \right) = j \frac{10^3 \times 7.02^2}{31.9 \times 2} \times \left( \frac{6}{100} \times 5 - \frac{1}{5} \right) = j77.24 \text{ [}\Omega\text{]}$$

直列リアクトル付進相コンデンサへの第5次高調波電流の低減率

$$\alpha_5 = \frac{Z_{LC5}}{Z_{S5} + Z_{LC5}} = \frac{77.24}{1.524 + 77.24} = 0.981$$

直列リアクトル付進相コンデンサへの分派を加味した第5次高調波流出電流

$$I_5 \times \alpha_5 = 1.231 \times 0.981 = 1.208 \text{ [mA]}$$

2. 電力系統からの進相コンデンサへの流入  
電力系統側の第5次高調波電圧

$$V_5 = I_5 \times \frac{\%V_5}{100} = 6.6 \times 10^3 \times \frac{2}{100} = 132 \text{ [V]}$$

直列リアクトル付進相コンデンサの第5次高調波インピーダンス

$$Z_{LC5} = j77.24 \text{ [}\Omega\text{]}$$

直列リアクトル付進相コンデンサに流入する第5次高調波電流

$$I_5' = \frac{V_5}{\sqrt{3} \times Z_{LC5}} = \frac{132}{\sqrt{3} \times 77.24} = 987 \text{ [mA]}$$

直列リアクトル付進相コンデンサに流入を意味した第5次高調波流出電流

$$I_5 - I_5' = 1.208 - 987 = 221 \text{ [mA]}$$

3. 詳細計算した高調波流出電流による判定  
221 [mA] ≤ 上限値 (770 [mA])  
また、第7次についても同様に計算した結果、上限値以下になるため、「検討終了」とする。

**線内真線結線図**

高調波発生機器、受電用変圧器、高調波を低減する機器の設置位置・諸元・電気定数等、計算に必要な情報を必ず記載する。

3φ 6.6kV 50Hz 12.5kVA

電灯変圧器 1φ 76kVA × 2  
6.6kV / 210-105V

動力変圧器 3φ  
200kVA  
5.6kV/210V

6%直列リアクトル 1.91kvar × 2

直列リアクトル付進相コンデンサ 31.9kvar × 2

電力系統インピーダンス  $Z_{SS} = j1.524 \text{ [}\Omega\text{]}$

直列リアクトル付進相コンデンサ設備インピーダンス  $Z_{LC5} = j77.24 \text{ [}\Omega\text{]}$

高調波電流  $I_5 = 1.231 \text{ [mA]}$

第5次高調波に対するインピーダンスマップ

計算値(その1)の高調波流出電流 [mA]	5次	7次	11次	13次	17次	19次	23次	25次	
低減後の高調波流出電流 [mA]	1,231	553	221	369	...	...	...	...	
高調波流出電流の上限値 [mA]	770	550	...	...	...	...	...	...	
対策要否判定	否	否	...	...	...	...	...	...	

(注)本様式により無い場合は、別の様式を用いてもよい。

## 2.7 保護方式

保護継電器を設置する目的は、電気系統、電気機器の異常状態を速やかに検出し異常箇所を回路から切り離すことにより、人身の安全確保、設備の保護を図るとともに、異常の波及を防ぎ、電気供給信頼度を向上することにある。

設備の保護方式としては、図 2.7-1 に示すように予防的及び対策的なものがある。

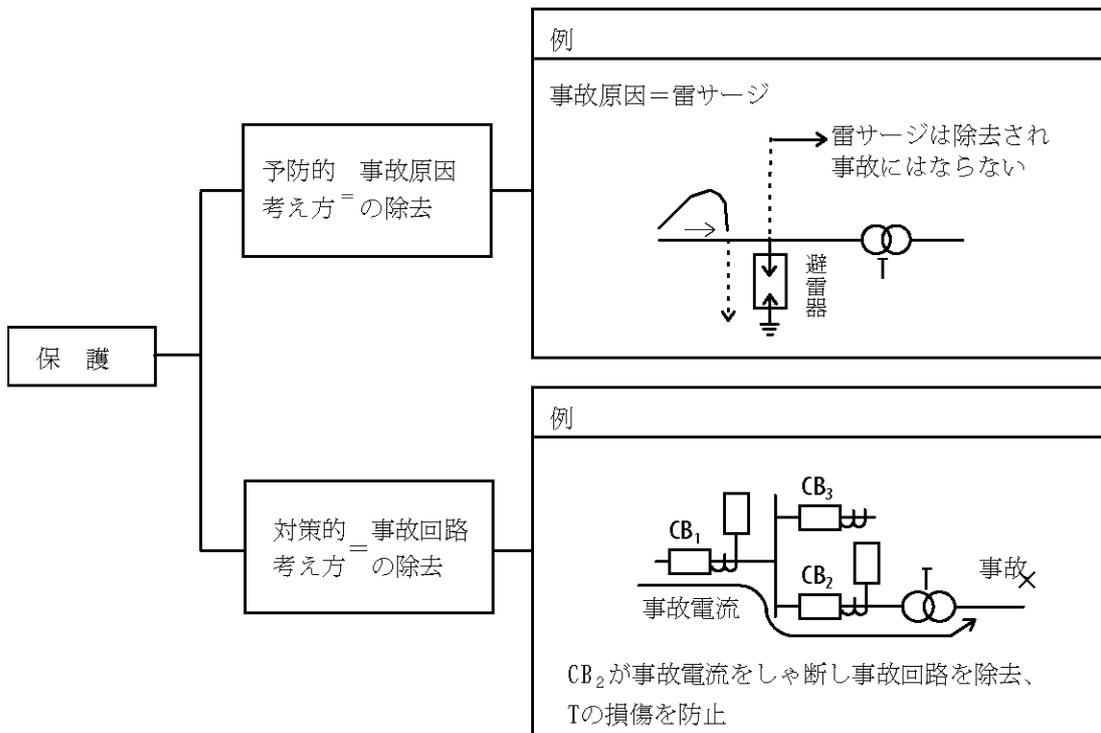


図 2.7-1 保護の考え方とその適用例

予防的保護方式は、事故の原因を取り除くことにより、事故の発生を未然に防止しようとするもので雷サージに対する避雷器の設置が代表的なものといえる。

対策的保護方式は、事故が発生した場合に事故回路を速やかに切離し事故による損害を最小に抑えようとするもので、遮断器や電力ヒューズなどを使用して過電流・短絡保護を行うのがこれに相当する。

事故を検出するために保護継電器が使用され、次のように用途により使い分けられる。

(1) 過負荷・短絡故障と過電流継電器(OCR)

過電流継電器は過負荷・短絡故障を保護するもので過負荷故障については限時要素で保護をおこない、短絡故障については瞬時要素にて保護を行う。(図 2.7-2)

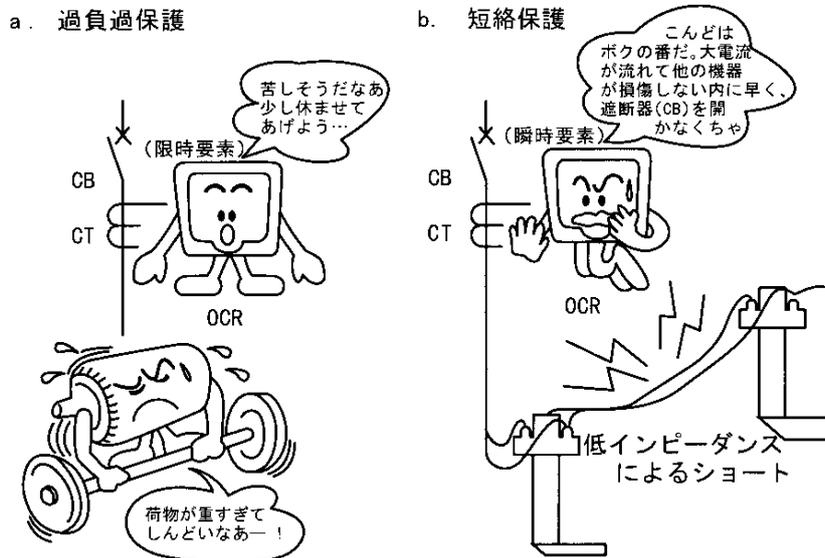


図 2.7-2

(2) 地絡故障と地絡継電器

地絡故障とは、電気回路の絶縁が劣化又は絶縁破壊して、大地と接触することであり、短絡故障時の電流より小さい電流が流れる。保護継電器としては、地絡故障電流の大きさで検出する地絡過電流継電器(GR)と故障の方向を判別する地絡方向継電器(DGR)とがある。(図 2.7-3)

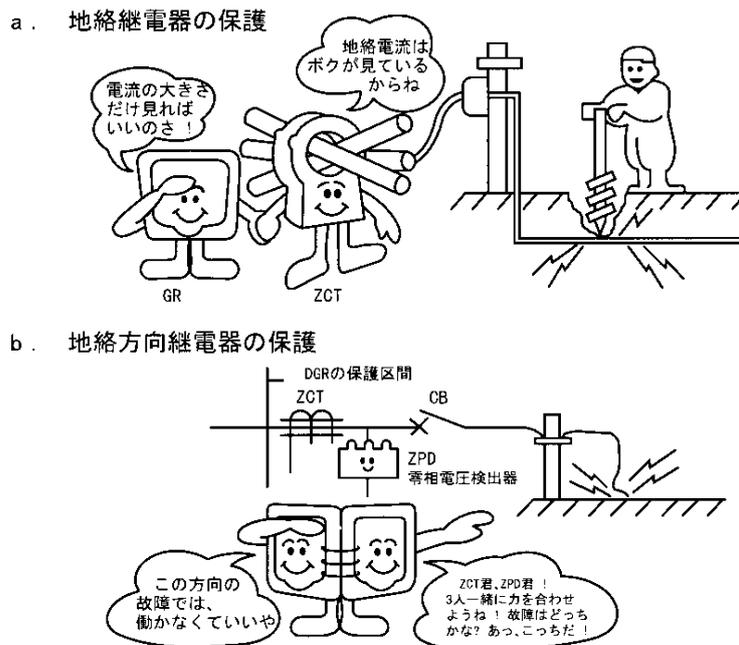


図 2.7-3

(3) 異常電圧と過電圧(OVR)・不足電圧継電器(UVR)

異常電圧には発電機の故障による電圧の急上昇や、停電か短絡故障による電圧低下の2通りがある。前者は過電圧継電器により保護し、後者は不足電圧継電器により保護する。(図2.7-4)

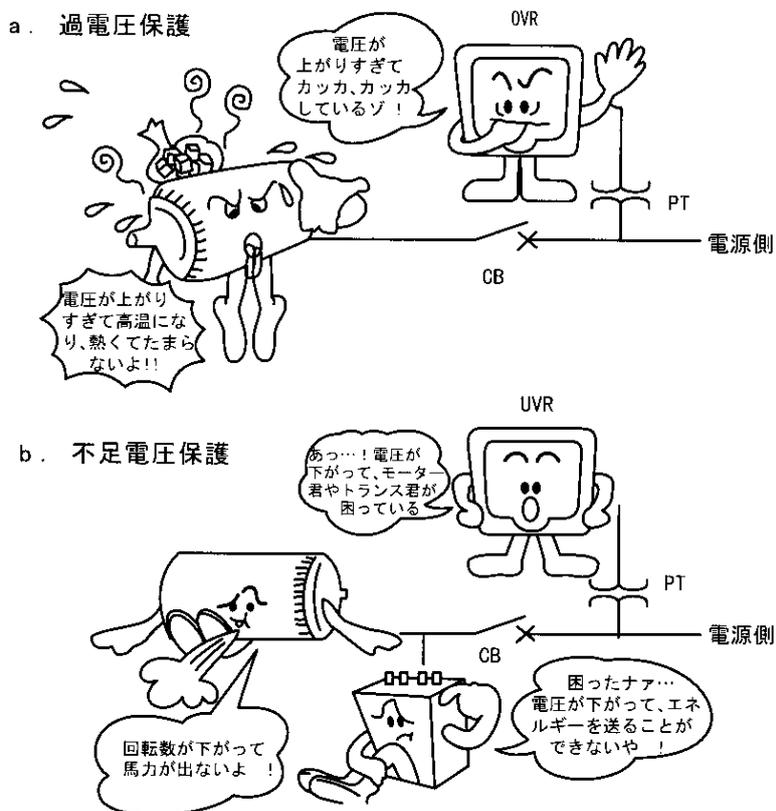
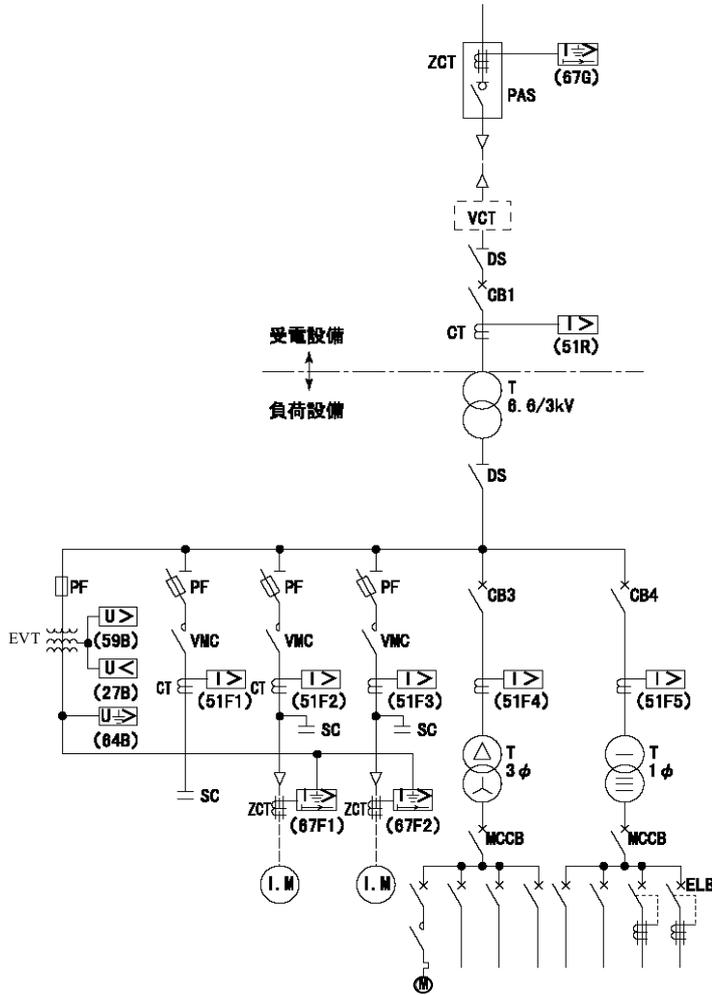


図 2.7-4

電気設備の保護を行う場合の配電系統における一般的な保護回路例を図 2.7-5 に示す。保護については、受電設備と負荷設備に分けて考える。



符号	名称
67G	地絡方向継電器
51R	受電用過電流継電器
51F	フィード用過電流継電器
59B	母線用過電圧継電器
27B	母線用不足電圧継電器
64B	母線用地絡過電圧継電器
67F	フィード用地絡方向継電器

図 2.7-5 一般的な保護回路例

### 2.7.1 受電設備の保護方式

受電設備の保護は引込口の責任分界点以降から受電用変圧器までを対象とする。

受電設備の受電点より負荷側で短絡、地絡など電気的事故が発生したとき、速やかに受電遮断器又は区分開閉器(PAS)を開路して、電力会社の配電系統や他の需要家に影響を及ぼさないことが必要である。また、他の需要家で地絡事故が発生した場合のいわゆるもらい事故による誤動作を起こさないよう留意する必要がある。

受電設備の保護のため次の保護継電器を設置する。

#### 1. 交流過電流継電器(51R)

瞬時要素(50)……………受電設備の短絡保護

限時要素(51)……………受電変圧器二次短絡保護及び過負荷保護

2. 地絡過電流継電器(51G)又は地絡方向継電器(67G)……受電設備の地絡保護

電力会社変電所の送電点に設置される保護継電器は、短絡保護用としては過電流継電器、短絡方向継電器、短絡方向距離継電器など、地絡保護用としては地絡過電流継電器、地絡方向継電器などが一般に使用されており、需要家内部の事故に際しては需要家受電点でこれを検出して受電遮断器を遮断し、電力会社送電点の遮断器が動作に至らないよう動作協調（電力会社より先に遮断し、電力会社の遮断器を動作させない）をとる必要がある。

表 2.7-1 に高圧受電設備指針に記載されている高圧受電設備の受電点継電器整定例を示す。しかし、電力会社の配電系統の保護方式、需要家の受電点での短絡電流の大小、需要家の受変電設備容量や契約電流の大小によって異なるので受電開始までに電力会社と十分協議する必要がある。

わが国の電力会社においては高圧 6.6kV 配電系統では非接地方式が採用されている。高圧受電点における受電点の保護継電器の接続は図 2.7-6 のようになる。

表 2.7-1 高圧受電設備の需要家受電点継電器整定例

用途	継電器の種類	整定値		
		要素	動作電流値	限時値
過電流保護 及び 短絡保護	瞬時要素付 過電流継電器 (51R)	限時	受電最大電力(契約電力)に相当する電流の 110 [%] ~ 150 [%]	電流整定値の 2,000 [%] 入力時 1 秒以下
		瞬時	受電最大電力(契約電力)に相当する電流の 500 [%] ~ 1,500 [%]	瞬時
地絡保護	地絡過電流継電器 (51G 又は 67G)		200mA	0.3 秒以下

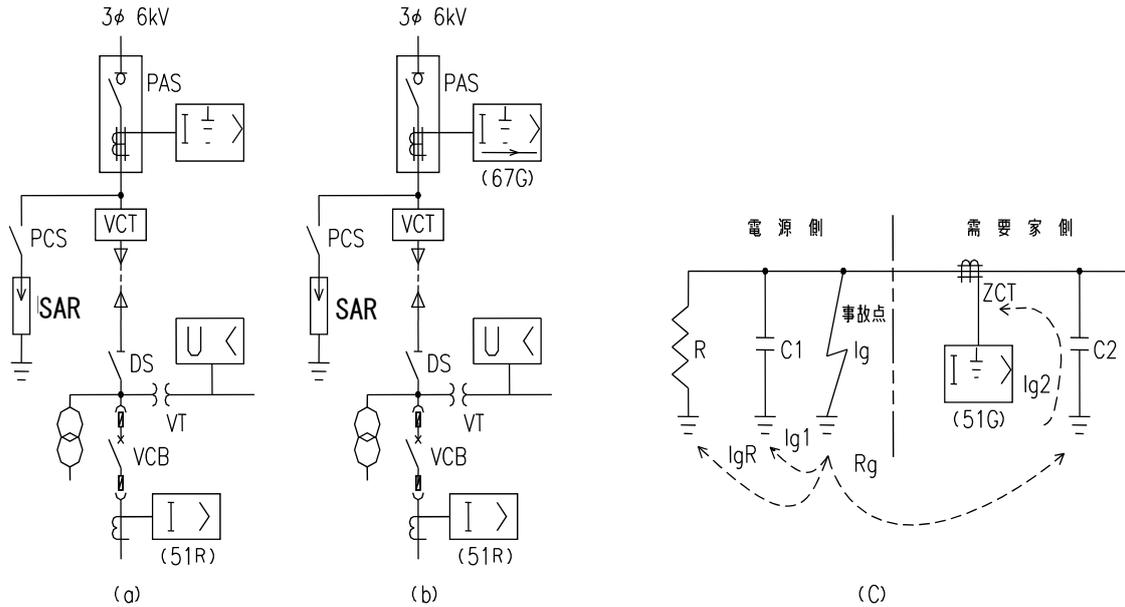


図 2.7-6 受電用保護継電器の接続

図 2.7-6(a)は受電点から受電変圧器までのケーブル亘長が表 2.7-2 に示す値未満の場合に採用される。地絡保護は地絡過電流継電器(51G)を用いる。

図 2.7-6(b) は受電点から受電変圧器までのケーブル亘長が比較的長い場合に採用される。ケーブル亘長が長い場合、ケーブルの対地静電容量が大きくなり、対地静電容量を通して流れる地絡電流が増加し、電力会社配電系統での地絡事故や他の需要家構内の地絡事故による、もらい事故を防ぐため地絡保護には地絡方向継電器(67G)を用いる。

図 2.7-6(C)は電源側にて地絡が発生した場合の地絡電流の流れを示したものである。地絡電流  $I_{g2}$ が需要家側の対地静電容量  $C_2$  から ZCT を通って事故点に流れる。継電器が方向性の無い地絡過電流継電器(51G)であると、地絡電流  $I_{g2}$ が地絡過電流継電器(51G) の設定値以上の電流が流れると継電器は動作することとなる。

なお、地絡電流  $I_{g1}$ は電源側の対地静電容量を、地絡電流  $I_{gR}$ は変電所の接地変圧器の中性点を流れる電流を示す。

6.6 [kV] 受電回路における地絡方向継電器(67G)の採用基準はケーブル亘長が表 2.7-2 に示す長さ以上の場合に採用する。

ケーブル亘長は6 [kV] の電動機がある場合はその負荷ケーブルも含める。

表 2.7-2 地絡方向継電器を必要とするケーブル亘長

6kVCV ケーブルの導体公称断面積 [mm <sup>2</sup> ]	8	14	22	38	60	100
亘長 [m]	80	70	60	50	45	40

地絡方向継電器（67G）を採用する場合、地絡電流の方向を判別するため零相電圧の検出が必要となる。零相電圧を得るには一般に接地形計器用変圧器（EVT）を用いる方式とコンデンサ形接地電圧検出装置（ZPD）を用いる方式があるが、EVT方式は、配電系統の地絡電流が増加し、電力会社が配電線の絶縁抵抗試験の実施に支障があるので認められていない。したがって、高圧需要家において零相電圧を得る方法としては、ZPD方式を採用する。

最近、柱上気中開閉器内にZPDを内蔵するタイプが多く用いられている。なお、高圧タイトランス（6.6/3.3kV）の3.3[kV]回路は変圧器にて電力会社の系統と絶縁される。零相電流を流すためにはEVT方式とする必要がある。

保護継電器の整定（動作電流と動作時間を定めること）は前述したように電力会社との協議が必要であるが、以下に基本的な考え方を述べる。

- 瞬時要素：①変圧器二次三相短絡では動作させない。（図2.7-7のイ）  
 (51R) ②変圧器励磁突入電流では動作させない。（図2.7-7のロ）  
 ③上記①②を満足して受電点短絡電流で動作し得る最低値とする。  
 （図2.7-7のハ）

- 限時要素：①変圧器の過負荷保護ができる動作電流値とする。  
 (51R) ②動作時限は電力会社送電端継電器と1.5～0.5秒の時限協調をとる。  
 （図2.7-7のニ）

- 地絡過電流：①変圧器励磁突入電流で誤動作しない範囲で感度は高い方がよい。  
 (51G, 67G) ②動作時限は需要家構内の地絡保護であるため瞬時遮断が望ましいが、変圧器励磁突入電流による誤動作を防止するため0.3秒程度の時限をもたせる。

図2.7-7に時限協調検討図の例を示す。

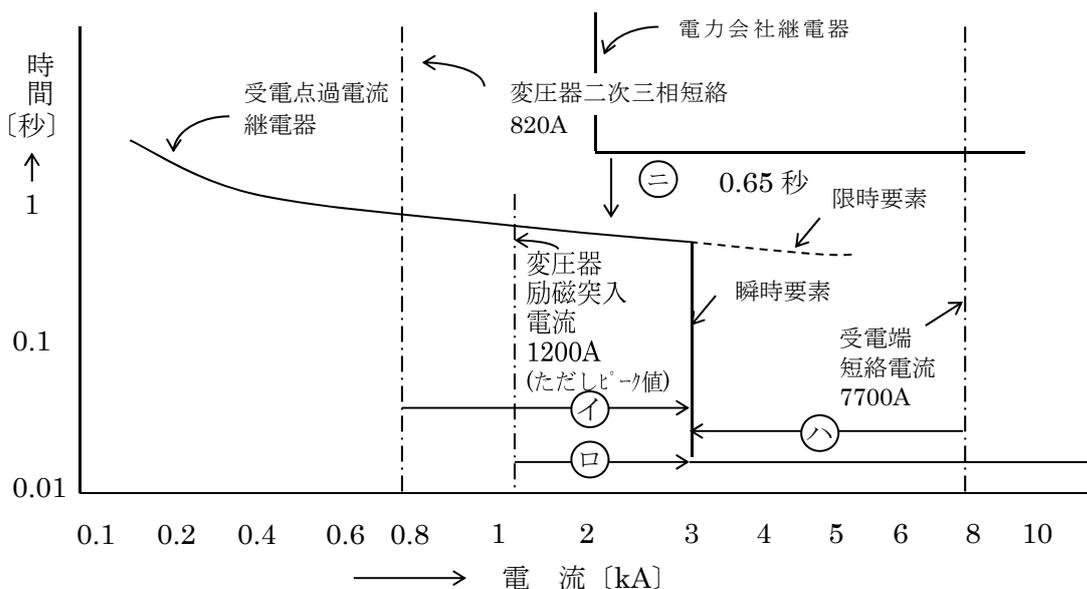


図 2.7-7 時限協調検討図例

2.7.2 負荷設備の保護方式

負荷設備の保護として次の保護継電器が採用される。

表 2.7-3 機器の保護一覧

	保護対象	過負荷	短絡	地絡	不足電圧
a	変圧器		○		
b	進相コンデンサ		○		
c	電動機	○	○	○	○*
d	その他の配電回路	○	○	○	

注) \*印の継電器は受電側の不足電圧継電器と兼用する

(1) 過負荷保護

(a) 変圧器

変圧器の過負荷保護は変圧器の温度上昇を限度内に抑えることで、継電器や電力ヒューズではその特性から完全な保護は期待できない。負荷配分を適当に行うことにより過負荷を防ぐことが一般的であり、過負荷を監視するためにダイヤル温度計を設置する。

ただし、変圧器容量 100 [kVA] 未満は設けなくてもよい。

(b) 配電線

配電線の過負荷保護は、回路の合計負荷電流の 110~125 [%] を目標に継電器の定格電流を設定する。電動機が回路に含まれる場合は、同時に起動する最大電動機群の定格容量を除いた合計負荷電流の 125 [%] に、最大電動機群の始動最大電流を加えた値とする。

(c) 電動機

電動機の過負荷保護は 2E リレー(二要素)、サーマルリレー又は過電流継電器で保護する。一般に 2E リレー、サーマルリレーは低圧電動機の過負荷保護に、高圧電動機は高圧ヒューズと高圧コンタクタの組み合わせ、いわゆる高圧コンビネーションの場合に 2E リレーが採用され、過電流継電器は高圧大容量の場合に採用される。2E リレーとは過負荷：欠相の二要素を検出する継電器である。

低圧電動機の過負荷保護には、電動機の熱特性に応じたサーマルリレーが一般的に使用されるが、水中モータのような始動時間が短く、過負荷耐量の小さいもの及び大容量のモータ等に対しては 2E リレーが適用され、またファン・ブロワ等慣性の大きいものについては始動時に誤動作のないよう遅延動作のサーマルリレーが適用される。

また、誘導電動機等を接続する回路には 2E リレーの特性に逆相検出回路が付加された 3E リレー(三要素)が使用される。

高圧電動機の過負荷保護は次のことを注意して選定する。

- (イ) 電動機の始動電流で継電器が動作しないこと。
- (ロ) 上位の過電流継電器の反限時特性と協調がとれていること。
- (ハ) 電動機定格電流の 120~130%で確実に動作すること。

図 2.7-8 に電動機の始動電流による誤動作をさけるために使用される 2E リレー及び長時限の特性を持った過電流継電器と図 2.7-9 に受電側に使用される配電 OCR の動作特性を示す。

図 2.7-10 に受電遮断器と高圧フィーダ<sup>※1</sup>遮断器との協調例を図 2.7-11 に電動機回路用過電流継電器との協調例を示す。

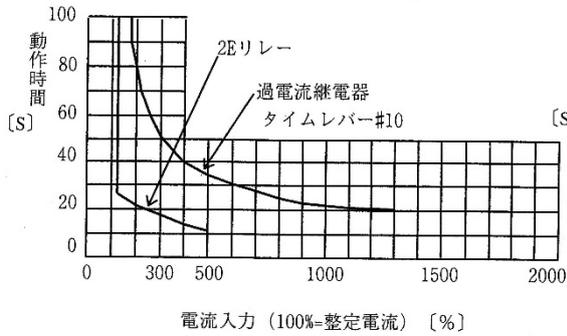


図 2.7-8 2E リレー及び電動機回路用過電流継電器の動作特性例

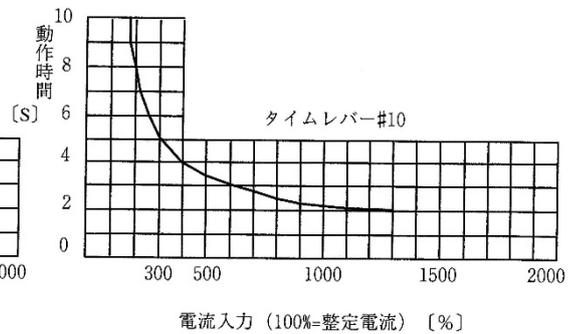


図 2.7-9 配電OCRの動作特性例

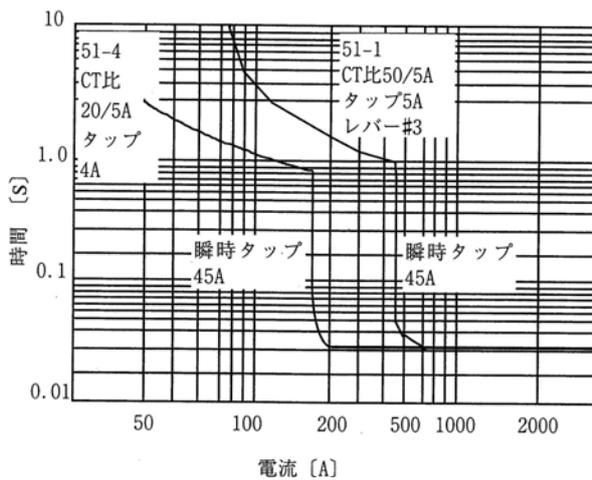


図 2.7-10 受電遮断器と高圧フィーダ遮断器との協調例

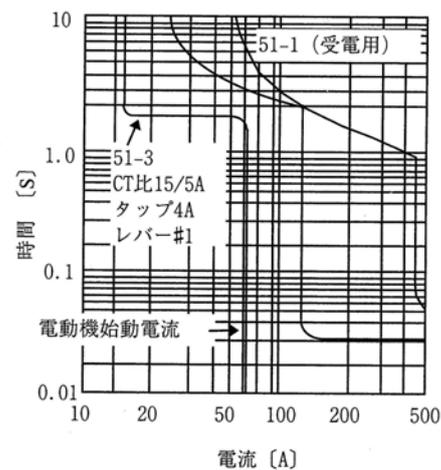


図 2.7-11 電動機回路用過電流継電器との協調例

## (2) 短絡保護

短絡保護は、短絡電流を計算の上、過電流継電器の瞬時要素で保護する。系統の事故に対する上位との協調は難しいが、この場合上位の過電流継電器は後備保護として考える。

### (a) 高圧フィーダ遮断器の短絡保護協調

受電用遮断器の過電流継電器とフィーダ側遮断器の過電流継電器の間では短絡電流の大きい領域では選択遮断することは不可能で、比較的短絡電流の小さい領域のみ保護協調をとることが可能である。

継電器の瞬時要素の設定においては、負荷の始動時の特性で変圧器であれば励磁突入電流で、また、かご形モータの全電圧始動(直入れ始動)であればその始動電流で過電流継電器の瞬時要素が誤動作しないよう設定する必要がある。

※1 電源から分岐し負荷に供給する回路をいう

(b) 低圧回路の短絡保護

低圧回路の短絡保護は主に電気設備技術基準に準拠して行われる。

遮断方式には次の二つの方式がある。

①全容量遮断方式——— 施設された過電流遮断器を通過する短絡電流を単一の保護器で遮断する方式

②バックアップ遮断方式—— 電源側に設置される遮断器と共同で、短絡遮断する方式

保護器としてはヒューズ、配線用遮断器が適用され、電力の供給信頼性の点から配電系統の末端で遮断切り離し、電源の遮断器は追従動作しないよう全容量遮断方式を原則とし、選択遮断を行い保護協調を取ることが望ましい。

(c) 短絡強度

短絡事故から事故電流を遮断するまでの間、短絡電流の流れる機器は機械的に破損しないものでなければならない。

これらの機器の熱的強度、機械的強度を検討し、下記を満足する機器を選定する必要がある。

①熱的強度

保護装置の全遮断エネルギー  $[A^2s] \leq$  直列機器の許容エネルギー  $[A^2s]$

②機械的強度

短絡電流波高値（若しくは限流波高値） $\leq$  直列機器の許容波高値

短絡事故が発生してから遮断器が遮断するまでの時間は概略次の値とする。

高圧遮断器の場合

一般に使用されている真空遮断器は3サイクル遮断（周波数50 [Hz] のとき60 [ms]）であり、保護継電器の瞬時要素の動作時間（40 [ms]）を加味し余裕を含め150 [ms] とする。

低圧遮断器の場合

低圧の場合は通常配線用遮断器が用いられている。配線用遮断器の遮断時間は定格電流等の違いにより動作時間は異なるがここでは余裕を考慮して20 [ms] とする。これをまとめると表 2.7-4 になる。

表 2.7-4 高圧・低圧回路の遮断時間

回路電圧	遮断器	遮断時間
高 圧	真空遮断器	150 [ms]
低 圧	配線用遮断器	20 [ms]

(d) 遮断容量

保護遮断器は、系統の短絡電流に基づき、単一機器でこの短絡電流を充分遮断できるものを選定するか、また、上位との組み合わせで遮断できることを確認する必要がある。

高圧側の遮断容量は2.3.2項で述べたように12.5[kA]とする。

低圧側の遮断器は、一般に、ヒューズ又は配線用遮断器が主であるため、短絡電流計算を行う際は電動機からの寄与電流を考慮する必要がある。

ある地点の短絡電流を求めるには、その点から電源を見た合成インピーダンスを求める必要がある。

合成インピーダンスの求め方にはオーム値で求める方法と%インピーダンス(%Z)から求める方法があり、ここでは%インピーダンスから求める方法について述べる。%インピーダンス法は変圧器で電圧が変圧された場合もインピーダンスの換算が不要で、各インピーダンスを加算すればよいので便利である。ただし、%インピーダンスは絶対値ではなく、ある容量を基準にして定まる値であるから計算を行う際は基準となる容量を定める必要がある。この容量を基準容量といい通常10[MVA]又は1000[kVA]をとる。したがって、変圧器の容量における%インピーダンス値、電源短絡容量から求められる%インピーダンス値及び電動機インピーダンス等はいずれも基準容量10[MVA]又は1000[kVA]における値に換算する。

また電線及びバスダクトのインピーダンスのようにオーム値で与えられている場合も%インピーダンスに換算する。%インピーダンスの基準容量への換算及びオーム値から%インピーダンスに換算する式を次に示す。

- ・ 機器容量%インピーダンス(%Z<sub>2</sub>)の基準容量%インピーダンス(%Z<sub>1</sub>)への変換

$$\%Z_1 = \%Z_2 \times \frac{\text{基準容量[kVA]}}{\text{機器容量[kVA]}}$$

- ・ オーム値(Z)から%インピーダンス(%Z)への変換

$$\%Z = Z \times \frac{\text{基準容量[kVA]}}{\text{定格電圧[kV]}^2 \times 10}$$

三相短絡電流の計算例

図2.7-12の配電系統図で短絡点Sの短絡電流を求める場合、等価回路図は図2.7-13のようになる。

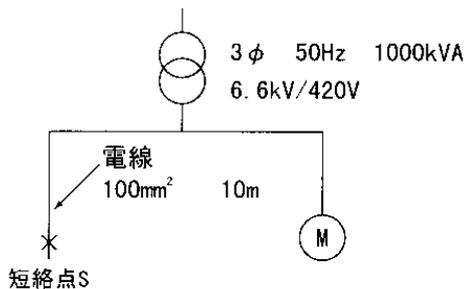


図 2.7-12

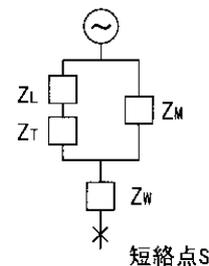


図 2.7-13

ここで  $Z_L$ 、 $Z_T$ 、 $Z_M$ 、 $Z_W$ は

$\%Z_L$  : 電源%インピーダンス

$\%Z_T$  : 変圧器短絡インピーダンス (%インピーダンス)

$\%Z_M$  : 電動機%インピーダンス

$\%Z_W$  : 電線%インピーダンス

各部の%インピーダンスを求める。

①電源%インピーダンス ( $\%Z_L$ )

受電点の短絡電流は電力会社が 12.5 [kA] を推奨しているので高圧側の短絡電流は 12.5 [kA] とする。

電源の短絡容量を 150 [MVA] (12.5kA) とすると、電源の%インピーダンスは基準容量 1,000kVA に換算すると次式となる。

$$\begin{aligned} \%Z_L &= \%Z \times \frac{\text{基準容量 [kVA]}}{\text{短絡容量 [kVA]}} \\ &= 100 \% \times \frac{1000}{150000} \\ &\approx 0.7 [\%] \end{aligned}$$

②変圧器短絡インピーダンス ( $\%Z_T$ )

変圧器 500[kVA] の短絡インピーダンスは表 3.2-7 より 5.5[%] であり、基準容量 1,000 [kVA] 換算の短絡インピーダンスは

$$\begin{aligned} \%Z_T &= \%Z \times \frac{\text{基準容量 [kVA]}}{\text{短絡容量 [kVA]}} \\ &= 5.5 \times \frac{1000}{500} \\ &= 11.0 [\%] \end{aligned}$$

③電動機の%インピーダンス ( $\%Z_M$ )

電動機の%インピーダンスは計画時には正確に把握できないのが一般的であり、平均的な概数である 20 [%] で計算して大差がない。また、電動機の容量は kW で示されるため、次の式で kVA に換算する必要がある。

$$\text{電動機基準 kVA} = 1.5 \times (\text{電動機容量の総和 kW})$$

ここで変圧器二次に接続され運転すると想定される電動機容量の総和を 80kW とする。

$$\begin{aligned} \text{電動機基準 kVA} &= 1.5 \times 80 \\ &= 120 [\text{kVA}] \end{aligned}$$

基準容量 1,000 [kVA] 換算の電動機の%インピーダンスは

$$\begin{aligned} \%Z_M &= 20 \times \frac{1000}{120} \\ &= 167.0 [\%] \end{aligned}$$

④電線%インピーダンス (%Z<sub>w</sub>)

電線のインピーダンスは〔Ω/km〕で示されるのが一般的である。

電線 600V CV 3 心 100〔mm<sup>2</sup>〕のインピーダンスは表 4.3-17 より 0.251〔Ω/km〕である。  
また、亘長を 10〔m〕とする。

$$\begin{aligned} \%Z_w &= Z \times \frac{\text{基準容量(kVA)}}{\text{回路電圧(kV)}^2 \times 10} \\ &= 0.251 \times \frac{10}{1000} \times \frac{1000}{(0.42)^2 \times 10} \\ &= 1.4 [\%] \end{aligned}$$

これで各部の 1,000〔kVA〕換算の%インピーダンスが求まり、まとめると表 2.7-5 のようになる。

表 2.7-5 1000kVA 換算の%インピーダンス

種 別	%インピーダンス 1,000〔kVA〕換算〔%〕
電源%インピーダンス      %Z <sub>L</sub>	0.7
変圧器短絡インピーダンス    %Z <sub>T</sub>	11.0
電動機%インピーダンス      %Z <sub>M</sub>	167.0
電線%インピーダンス        %Z <sub>w</sub>	1.4

ここで等価回路図から短絡点 S から電源を見た合成インピーダンス (%Z) を求める。  
抵抗の直列・並列接続の計算と同様に求める。

$$\begin{aligned} \%Z &= \%Z_w + \frac{(\%Z_L + \%Z_T) \times \%Z_M}{(\%Z_L + \%Z_T) + \%Z_M} \\ &= 1.4 + \frac{(0.7 + 11) \times 167}{(0.7 + 11) + 167} \\ &\approx 12.3 [\%] \end{aligned}$$

短絡点Sの短絡電流を求める。

短絡点Sの回路電圧は420 [V] であり、基準容量は1,000 [kVA]、合成インピーダンスは12.3 [%] であるから、短絡点Sの短絡電流 ( $I_s$ ) は次のように求まる。

$$\begin{aligned} I_s &= \frac{\text{基準容量(kVA)} \times 100}{\sqrt{3} \times \text{電圧(kV)} \times \%Z} \\ &= \frac{1000 \times 100}{\sqrt{3} \times 0.42 \times 12.3 \times 1000} \\ &\approx 11.2 \text{ [kA]} \end{aligned}$$

短絡点Sの短絡電流が求まると短絡点上位の遮断器はこの短絡電流を遮断できる遮断容量を有するものでなければならない。

### (3) 地絡保護

#### (a) 高圧地絡保護

負荷設備で高圧電動機又は高圧フィーダ等で配電盤外に電源を供給する場合、地絡保護回路を設ける。回路数が1回路のときは地絡過電流継電器を2回路以上の場合には地絡方向継電器とする。地絡方向継電器は地絡電流と零相電圧の位相差により判別するため零相電圧を検出する必要がある。

零相電圧の検出は高圧回路が商用電源から変圧器を介している場合は接地形計器用変圧器を設ける。また、商用電源から直接高圧を供給する回路の場合は高圧気中開閉器内に設けられたコンデンサ形接地電圧検出装置から接地継電器（多回路用）を経由し零相電圧を供給する。

接地形計器用変圧器を設けた3kV配電の回路例を図2.7-14、コンデンサ形接地電圧検出装置を設けた6kV配電の回路例を図2.7-15に示す。

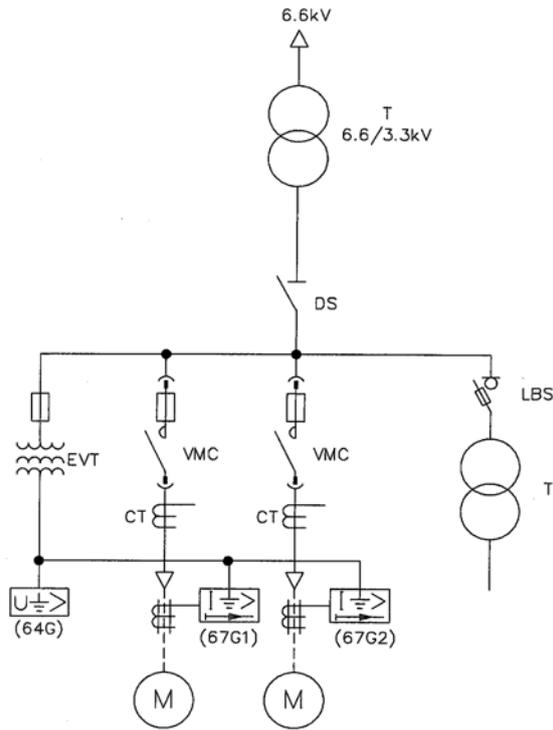
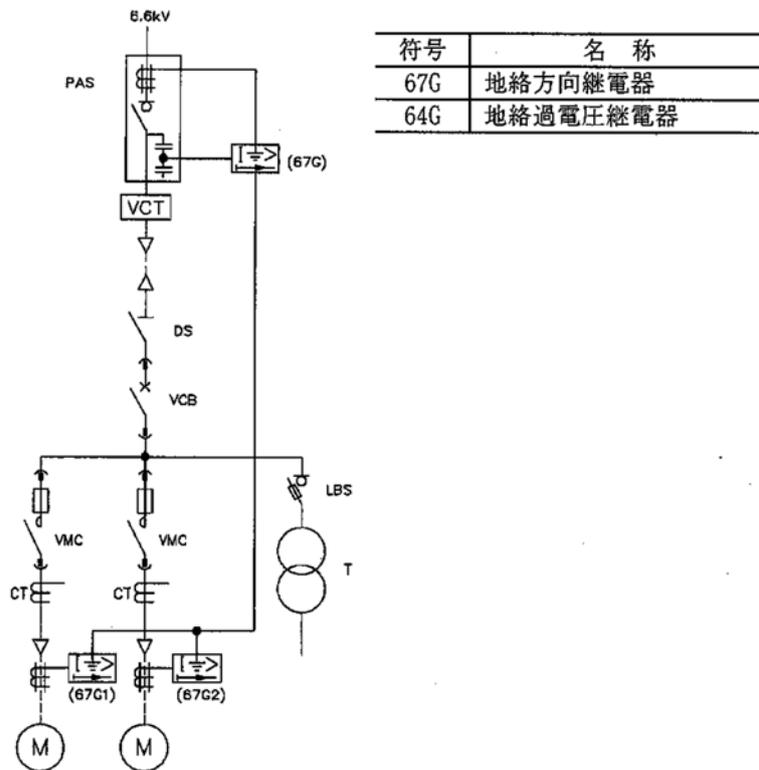


図 2.7-14 3kV 配電の回路例



符号	名称
67G	地絡方向継電器
64G	地絡過電圧継電器

図 2.7-15 6kV 配電の回路例

(b) 低圧地絡保護

漏電遮断器の施設に関する内容は電気設備技術基準に、移動形若しくは可搬形電動器具の接続された電気回路は、労働安全衛生規則にその施設の基準が定められている。

電気設備技術基準の解釈において地絡遮断装置の設置等に関する条項は次のとおりである。

①地絡遮断装置の施設

第40条 地絡遮断装置の施設

水中ポンプ等水気のある場所に施設する器具の回路には漏電遮断器等の地絡遮断装置を設ける。

第162条 屋内電路の対地電圧の制限

第195条 火薬庫における電気工作物の施設

第228条 フロアヒーティング等の電熱装置の施設

第229条 パイプライン等の電熱装置の施設

第230条 電気温床等の施設

第234条 プール用水上照明灯等の施設

②地絡遮断装置の施設による接地工事などの緩和、省略

第19条 接地工事の種類

第29条 機械器具の鉄台及び外枠の接地

第242条 臨時配線の施設

地絡保護協調

電気設備技術基準に基づく地絡遮断装置の施設は、負荷機器の直前の分岐回路に漏電遮断器を設ければよいが、途中電路の漏電火災や地絡アークの保護を考える場合には、幹線、引込みの所にも設置することにより、後備保護を行うとともに地絡、漏電の発生箇所の発見が容易になる。

また、事故回線のみを切り離そうとする場合は上位の漏電遮断器には遅延形を採用し、地絡保護協調を取ることができる。

図2.7-16に地絡保護協調の一例を示す。図(イ)では、地絡電流が数百mA程度流れると分岐、幹線、引込口いずれかの漏電遮断器が動作し協調が取れない。

図(ウ)は幹線、引込口の漏電遮断器に遅延形を採用すると、地絡電流が数百mA程度流れるとまず分岐の漏電遮断器が動作し、次に幹線及び引込口の漏電遮断器が動作することになり、保護協調<sup>\*1</sup>が取れることとなる。

---

\*1 事故が発生した場合下位の保護継電器が先に動作し、上位の保護継電器がバックアップするように設定することを行う

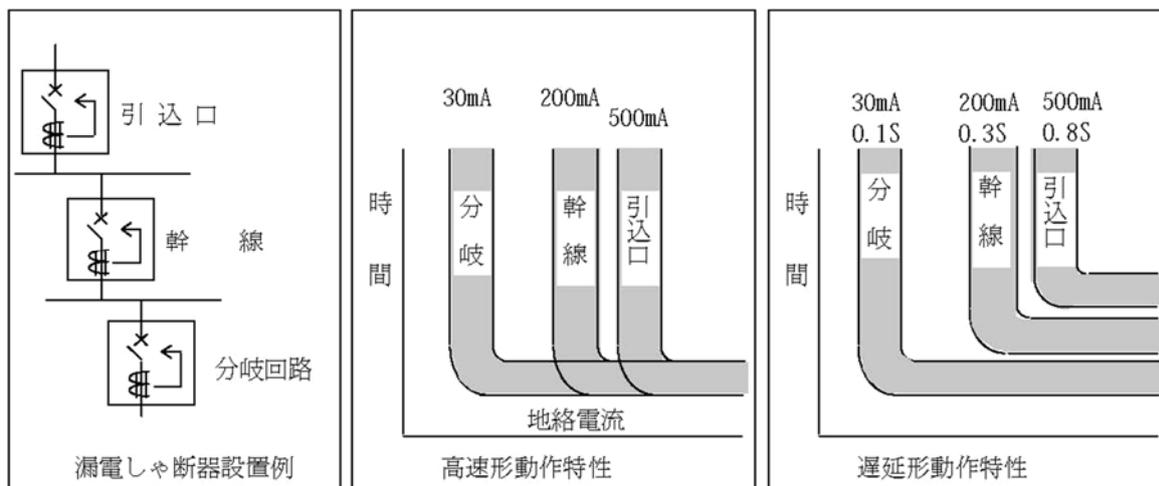


図 2.7-16 地絡保護協調

### 2.7.3 雷害対策

屋外の配電線系統に接続される受配電設備は、雷による異常電圧の進入を受けやすい機会が多く、これに起因する電気設備の故障は、全体の事故のうちでも相当大的な割合を占めている。

高圧受電設備指針によると、年間事故発生件数 1000～1300 件に対し雷害による事故は 15～20% に達している。

雷サージ発生回数を予測するために、普通、各地域の年間雷雨日数 (IKL Isokeraunic Level) が使われている。図 2.7-19 は、わが国の年間雷雨日数の地域別分布を示したもので、関東北部、岐阜、琵琶湖周辺、北陸、九州南部などは襲来が頻繁で 35 日以上に及ぶ所もある。特に北陸地方では冬季雷が多く発生する。

雷害対策に直接関係する落雷頻度は、雷の発生状況、地形、気象条件など地域の状況で異なり、一概にはいえないが、実測結果によると、年間雷雨日数 30 日の地域で 2.8～5.9 回/km<sup>2</sup>/年の範囲にある。

雷撃電圧の波形をモデルにしたものを図 2.7-17 に示す。

波頭長については、数  $\mu\text{s}$  (マイクロ秒=100 万分の 1 秒)、半波高値の継続時間は数  $\mu\text{s}$ ～100 $\mu\text{s}$  程度のものが大部分とされている。

雷害の被害を防ぐ方法としては、避雷器の設置、耐雷変圧器の設置等がある。

建屋を含む雷害対策としての避雷針の設置は別途建築付帯設備として検討する必要がある。

近年では、雷害対策として、電気設備や通信設備等の接地と、建屋の避雷針の接地を共通に接続することにより、各接地間の電位差が生じないように等電位化を図る等電位ボンディングという方法がある。

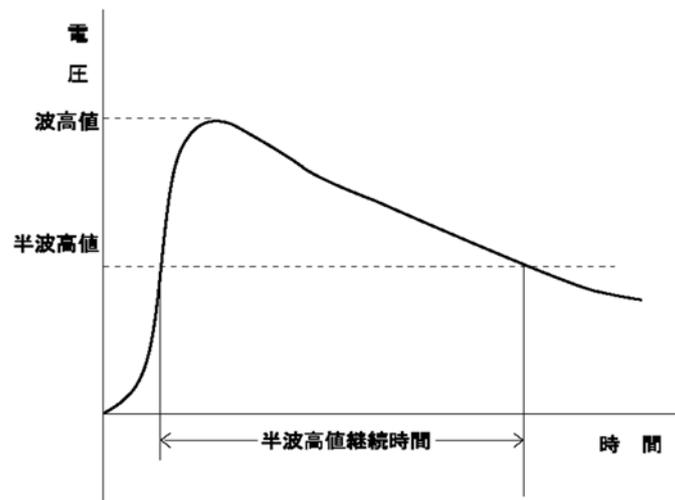


図 2.7-17 雷撃電圧波形モデル

### (1) 雷害対策

雷害対策は、建築基準法、消防法及び JIS に基づき行うものとするが、設計に当たって特に留意する事項について記載する。

#### (a) 高圧受電部の雷害対策

自家用需要家の契約電力が 500 [kW] 未満の設備については避雷器の設置を義務付けられていないが、雷による危険は設備容量の大小に無関係であり、高圧架空電線路から供給を受ける引込口又はこれに近接する箇所に避雷器を設置し、機器の雷サージによる被害を低減する必要がある。

避雷器は、雷サージに対して機器、端子などとの絶縁協調<sup>※1</sup>を保つために一般に使用され、これらの近くに設置すれば、絶縁協調の効果を高めることができる。しかし、雷直撃によるフラッシュオーバーを防止することはほとんど期待できないので、避雷器の設置は誘導雷サージの抑制による事故防止が主目的である。

誘導雷サージが避雷器の雷インパルス放電開始電圧より大きくなれば避雷器が放電し、避雷器設置点及びその近くのサージ電圧を機器の絶縁レベル以下に抑制することができ、絶縁協調が保たれる。絶縁協調を図る上では、各機器の絶縁耐力を理解する必要がある。

表 2.7-7 に絶縁協調対照表を示す。

#### (b) 高圧避雷器の特性と選定

避雷器の諸性能は、表 2.7-8 に示すように JEC-2374(2015) (:酸化亜鉛形避雷器)に定められている。この規格は 発電所用、線路用のように使用場所による区別は設けず、公称放電電流及び定格電圧によって表示し電力系統の特質に応じて使用者が選択使用することができる。

定格電圧 4.2 [kV] の避雷器は 3.3 [kV] 回路に、定格電圧 8.4 [kV] の避雷器は 6.6 [kV] 回路に適用される。

※1 避雷器の放電開始電圧が各高圧機器の耐電圧値以下に選定されていることをいう。

また、発電所用として公称放電電流 10 [kA] 及び 5 [kA] の避雷器が使用され、線路用としては 2.5 [kA] 避雷器が適用されており、需要家引込口も通常 2.5 [kA] 避雷器が使用される。

しかし、設置場所によっては 5 [kA] 避雷器が使用されることもある。

(c) 高圧避雷器の接地

需要家における避雷器の接地抵抗は電気設備技術基準の解釈第 42 条で 10 Ω 以下に規制されている。

避雷器の接地は単独接地とする規定はないが、接地網を用い接続して接地する以外は単独接地とすることが一般的である。

(d) 耐雷変圧器

耐雷変圧器は低圧配電線又は変圧器を介し進入する雷サージから通信用設備やコンピュータ設備等の弱電機器を保護することを目的に電源の幹線に設置される。耐雷変圧器は低圧変圧器の一次と二次に低圧避雷器や非直線性素子<sup>\*1</sup>等を接続し、ケースに収納され単独又は配電盤内に設置し使用される。耐雷変圧器の容量は表 2.7-6 による。

表 2.7-6 耐雷変圧器の容量

一次電圧	二次電圧	容 量 [kVA]										
100V 单相	100V 单相	0.5	1	2	3	5	7.5	10	15	20	30	
200V 单相又は三相	200V 单相又は三相	0.5	1	2	3	5	7.5	10	15	20	30	50

耐雷変圧器の回路例を図 2.7-18 に示す。

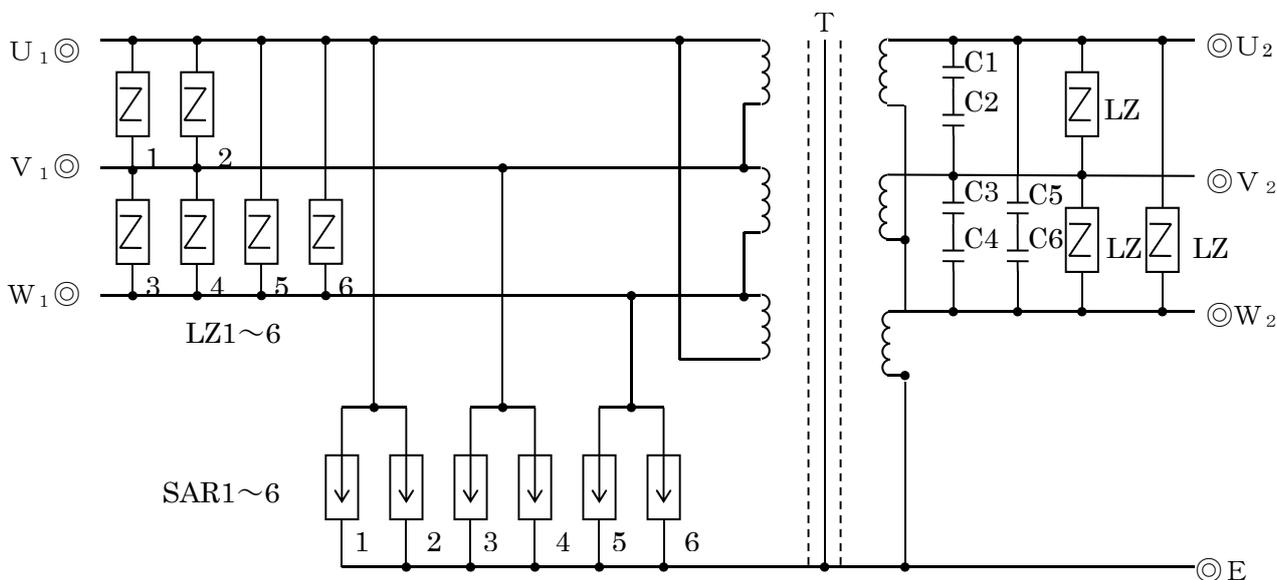


図 2.7-18 耐雷変圧器の回路例

(e) SPD (アレスタ又は避雷器ともいう)

SPDは雷サージのような異常な過電圧に対してのみ動作し、雷サージ処理後は元の正常な系統状態に自動復帰する機能を持つものである。電源用や通信信号用SPDがある。(参考:水管理制御方式技術指針の 5.2.3 建築物内の電気・電子設備の雷サージ保護(雷サージの低減)(2)SPDの設置、5.3 SPDの機能と種類)

(f) 計装用回路の雷害対策

計装機器において、屋外露出配管等があるところにおいては検出器及び屋内側ケーブル接続部に信号用避雷器を設置し雷害対策を行う。

---

※1 電圧が増大すると抵抗が著しく減少する特性を有する素子(一般にバリスタと呼ばれている)

検出器には避雷器を内蔵している場合もある。

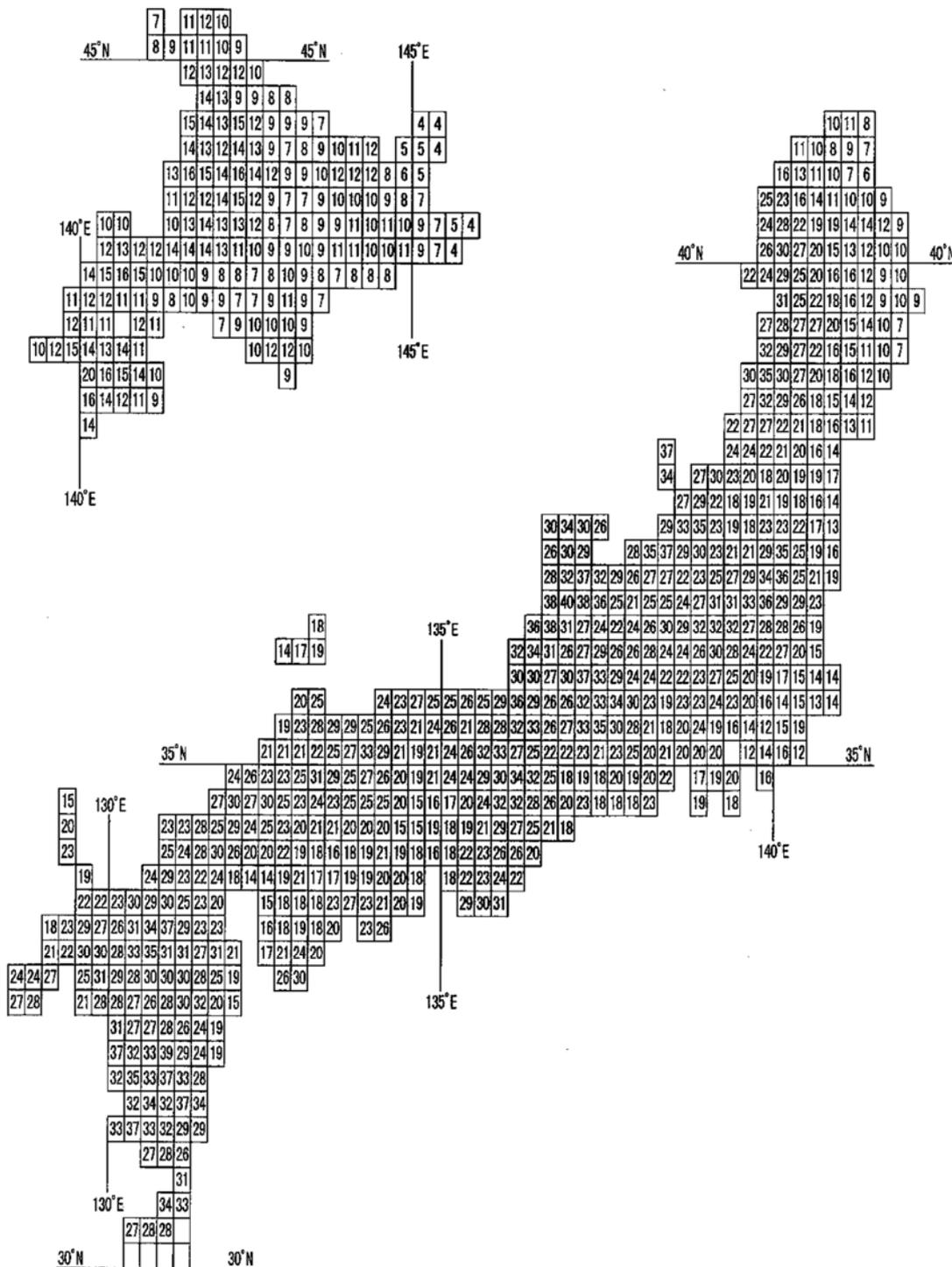


図 2.7-19 年間雷雨日数分布 (10年平均)

(電力中央研究所研究報告 : 175030)

表 2.7-7 絶縁協調対照表

電圧クラス		3 kV 系		6 kV 系		備 考
絶縁強度		3A	3B	6A	6B	旧 JEC による表現
雷インパルス耐電圧	kV	45	30	60	45	
発電所用避雷器 (5kA 避雷器)	放電開始電圧 [kV]	17		33		この値以下になること
	制限電圧 [kV]	13		25		放電電流 2.5 [kA]
	制限電圧 [kV]	15		30		放電電流 5 [kA]
配電線路用避雷器 (2.5kA 避雷器)	放電開始電圧 [kV]	17		33		この値以下になること
	制限電圧 [kV]	17		33		放電電流 2.5 [kA]
耐張碍子	個 数			1		
	50%フラッシュオーバー電圧 [kV]			90		
ピン碍子	普 通 形	高 圧		高 圧		
	50% フラッシュオーバー電圧 [kV]	85		85		
支持碍子	耐 電 圧 [kV]	50		60		屋外用 (外雷)
断路器	耐 電 圧 [kV]	45		60		屋内用 (外雷なし)
遮断器	耐 電 圧 [kV]	50		60		
負荷開閉器						
捲線形計器用変圧器	全波耐電圧 [kV]	45	30	60	45	
	さい断波耐電圧 [kV]	55	40	70	55	
捲線形計器用変流器 変 圧 器	全波耐電圧 [kV]	45	40	60	50	
	さい断波耐電圧 [kV]	55	40	70	55	
電力ヒューズ	耐 電 圧 [kV]	45	30	60	45	

表 2.7-8 避雷器特性表 JEC-2374 (2015) 直列ギャップ付避雷器)

番 号	定格電圧 〔実効値〕 [kV]	公称電圧 〔実効値〕 [kV]	商用周波 放電開始 電 圧 〔下限値〕 〔実効値〕 [kV]	雷インパルス放電開始電圧 (上限値) (波高値) [kV]				雷インパルス制限電圧 (上限値) (波高値) [kV]	
				5 [kA] 避雷器		2.5 [kA] 避雷器		5 [kA] 避雷器	2.5 [kA] 避雷器
				標準	0.5 [μS]	標準	0.5 [μS]	5 [kA]	2.5 [kA]
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	4.2	3.3	6.9	17	19	17	20	15	17
2	8.4	6.6	13.9	33	38	33	38	30	33

番 号	耐電圧 [kV]	
	雷インパルス 電圧 (波高値)	商用周波 電圧 (実効値)
	(10)	(11)
1	45	16
2	60	22

## 2.8 監視制御方式

電気設備を管理運営するに当たり、状態監視及び制御・操作等に必要な管理項目等はポンプ、ゲート及びバルブ等の全体施設配置や管理計画の中で検討される場合が多い。電気設備の監視・操作項目は表 2.8-1 に示すように受電電圧・受電電流・受電電力量・遮断器操作・受電表示等が一般的であり、非常用発電装置がある場合も同様の監視・操作項目を設ける。

監視・操作場所は機側のほか、現場管理所に設ける遠隔監視操作卓又は中央管理所に設ける遠方監視操作卓から各施設の操作・監視が行われる場合が多い。遠隔・遠方監視操作卓からの監視・操作内容については、各施設の規模・使用目的・使用条件・管理体制等の地区における実状を勘案し決定するものとする。

監視制御方式の形態としては、次の3通りが一般的であり、運転監視制御設備の詳細は、水管理制御方式技術指針（計画設計編）を参照とする。

- 1) 現場施設が個々に閉塞した管理形態で、操作員の巡回等による運転管理を行う場合（図 2.8-1(1)）
- 2) 複数の現場施設等を監視・制御するための遠隔管理施設を近傍に設置し一体的な運転管理を行う場合（図 2.8-1(2)）
- 3) 広域に配置された現場施設等を直接的若しくは遠隔管理施設を経由して監視・制御するための中央（遠方）管理施設を設置し一体的な運転管理を行う場合（図 2.8-1(3)）

管理項目表（用水ポンプ場）の例を表 2.8-1 に、また図 2.8-2 に遠隔監視操作卓を図 2.8-3 に遠隔監視操作卓外観例を示す。

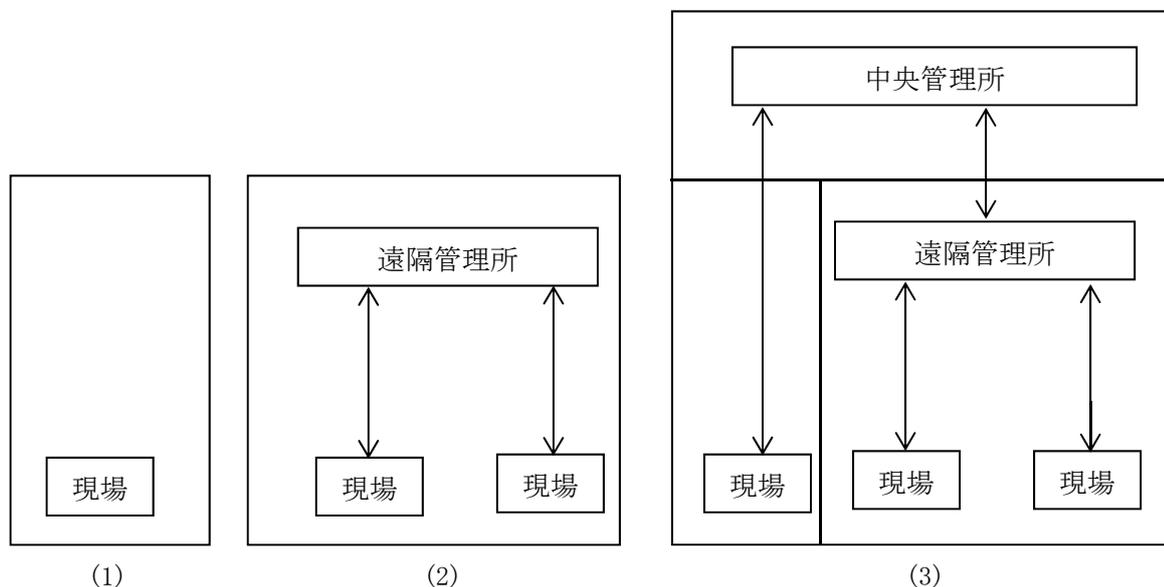
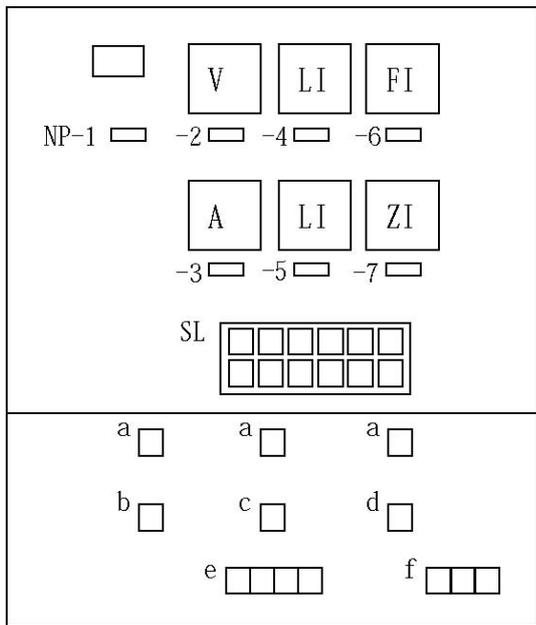


図 2.8-1 監視制御方式の例



凡例



記号	名称
NP-1	受電電力量
-2	受電電圧
-3	受電電流
-4	吸水槽水位
-5	吐水槽水位
-6	送水流量
-7	制水弁開度

S L

受変電 設備異常	吸水槽 水位異常	吐水槽 水位異常	操作室 異常
受電 遮断器 トリップ	ポンプ 故障	制水弁 故障	

a
中央

(ランプ)

b	
受電遮断器	
切	入

(スイッチ  
+ランプ)

c	
ポンプ	
停止	運転

(スイッチ  
+ランプ)

d	
制水弁	
閉	開

(スイッチ  
+ランプ)

e			
切・手動 停止・閉	停止	入・自動 運転・開	リセット

(スイッチ)

f		
警報停止	故障復帰	ランプ テスト

(スイッチ)

図 2.8-2 遠隔監視操作卓 盤面例

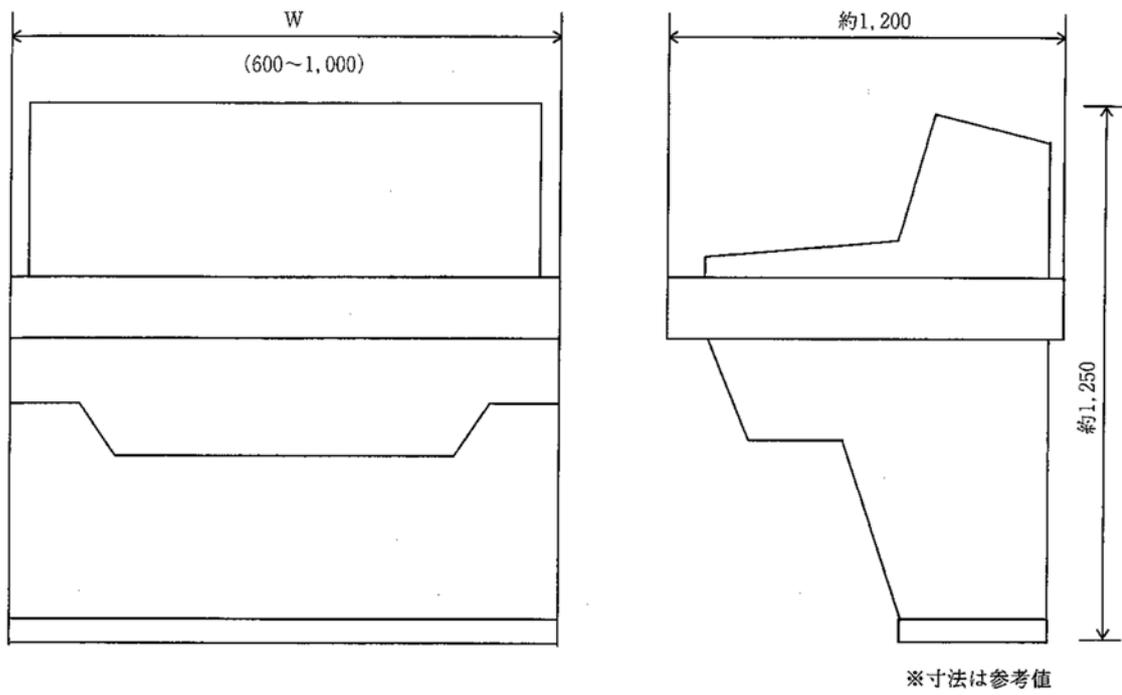


図 2.8-3 遠隔監視操作卓外觀図例

## 第3章 機器の選定

### 3.1 電動機

#### 3.1.1 電動機の種類と構造

##### (1) 電動機の種類

電動機は電気力（電気エネルギー）を受け取り、電動機軸に回転力（機械エネルギー）を発生し、ポンプ等の負荷設備に動力を伝達するもので電気-機械エネルギーの変換装置といえる。

電動機は、エネルギー変換の原理や構造により図 3.1-1 のように分類することができる。

これらの電動機の中で用排水ポンプ場、ダム、頭首工他においては大形ポンプ用として誘導電動機が最も多く用いられている。なお、同期電動機は古くは大形ポンプ等に適用されていたが、現在では誘導電動機の性能向上等により、ほとんど適用されてはいない。

誘導電動機の種類は、交流電源の相数により単相、三相誘導電動機に分類できるが、一般に工業用等には三相誘導電動機（以下電動機と言う）が多く用いられ、単相誘導電動機は家庭用電気製品を中心に多く用いられるほか、小形電動バルブ、コンプレッサ等の駆動に用いられている。

なお、電動機は回転速度をほぼ一定で、使用することが多いが、用排水機の最適運転の見地から電動機は速度制御運転が必要な場合もある。一方、近年の半導体応用技術の進歩により速度制御装置の技術的発展は目覚ましく、誘導電動機との組合せにより容易にポンプ等の速度制御ができるようになった。

本項では主として誘導電動機とその速度制御方法について述べる。

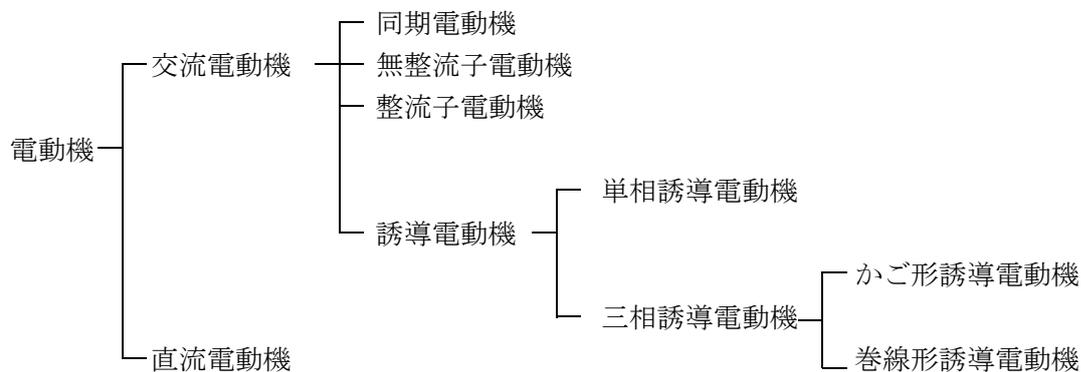


図 3.1-1 電動機の種類

(2) 誘導電動機の形式

誘導電動機は、軸方向(横軸形、立軸形)、保護方式、冷却方式などの組み合わせにより各種の形式があり、それぞれに呼称を設けている。

(a) 軸方向及び取付

- ① 横軸形 一般に横方向片軸、足付下方取付。(注)
- ② 立軸形 一般に下方向片軸、フランジによる下方向取付。

(注)：制水弁用等横方向片軸、フランジによる横方向取付や油圧ポンプ用に横方向両軸などもある。

(b) 保護方式

回転機の外被による保護方式は人体及び固形異物と水の侵入に関する保護形式の組み合わせによって分類する。これら保護形式を表 3.1-1 及び表 3.1-2 に示す。

表 3.1-1 人体及び固形異物に関する保護形式 (JEC 2110 抜粋)

第1数字 記号	保護の程度	
	概 要	定 義
0	保護を施していない誘導機	特別の保護を施していない構造
1 <sup>(1)</sup>	50 mm超過の固形異物に対して保護を施した誘導機	手の甲のような人体の大きな表面が、外被内部の通電部分や回転部分に偶然に、又は不注意に接触したりしない構造(ただし故意の接近に対しては無保護) 直径50 mm超過の固形異物が侵入しない構造
2 <sup>(1)</sup>	12 mm超過の固形異物に対して保護を施した誘導機	80 mm長さを超えない指又は類似物が、外被内部の通電部分や回転部分に接触したり接近したりしない構造 直径12 mm超過の固形異物が侵入しない構造
3 <sup>(1)</sup>	2.5 mm超過の固形異物に対して保護を施した誘導機	直径2.5 mmを超える道具やワイヤが、外被内部の通電部分や回転部分に接触したり接近したりしない構造 直径2.5 mm超過の固形異物が侵入しない構造
4 <sup>(1)</sup>	1 mm超過の固形異物に対して保護を施した誘導機	直径1 mm超過のワイヤ又は小薄片が、外被内部の通電部分や回転部分に接触したり接近したりしない構造 直径1 mm超過の固形異物が侵入しない構造
5 <sup>(2)</sup>	じんあい(塵埃)に対して保護を施した誘導機	外部からの物体が、外被内部の通電部分や回転部分に接触したり接近したりしない構造 じんあいの侵入を極力阻止し、たとえ侵入しても正常な運転に支障がない構造
6 <sup>(2)</sup>	じんあい(塵埃)に対して高度な保護を施した誘導機	じんあいの侵入を阻止した構造

注(1) 固形異物の大きさは、互いに直角の三方向において定義欄にある数値を超えるもの。

(2) じんあいの材質、大きさなどがわかっている場合、試験条件は製造者と注文者間の協議によって定める。

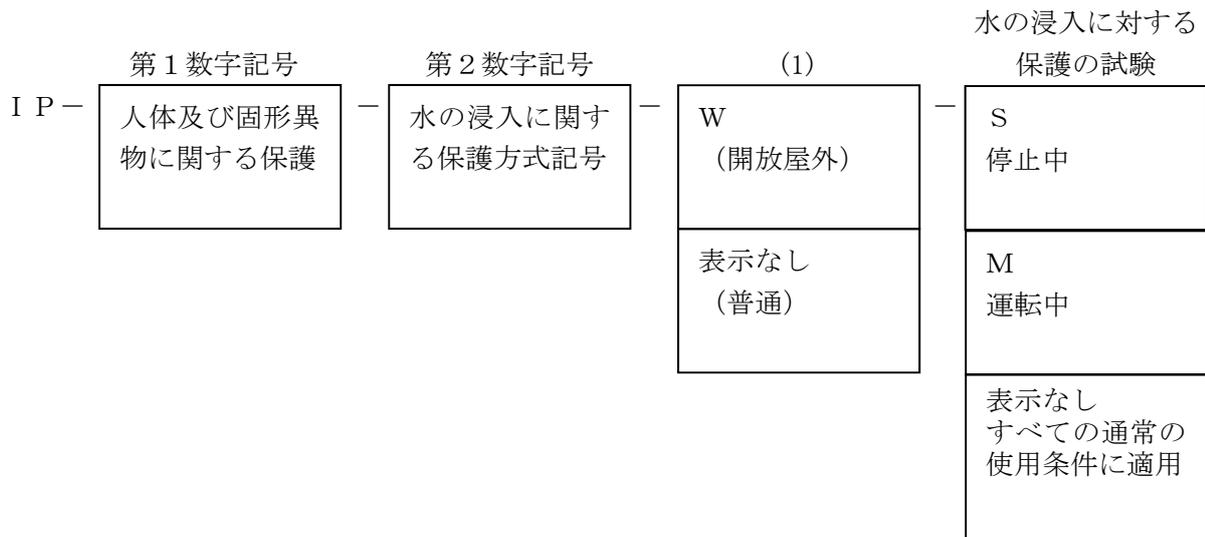
表 3.1-2 水の侵入に関する保護形式 (JEC 2110 抜粋)

第2数字 記号	保護の程度	
	概 要	定 義
0	保護を施していない誘導機	水の浸入に対して特別の保護を施していない構造
1	落下する水滴に対して保護を施した誘導機	鉛直方向に落下する水滴によって有害な影響を受けない構造
2	鉛直から15°以内に落下する水滴に対して保護を施した誘導機	通常の設置位置から15°までに機械を自由に傾けた場合に、鉛直方向に落下する水滴によって有害な影響を受けない構造
3	散水に対して保護を施した誘導機	鉛直から60°以内の角度で落下する散水状態の水によって有害な影響を受けない構造
4	飛まつに対して保護を施した誘導機	いかなる方向からの飛まつによっても有害な影響を受けない構造
5	噴水流に対して保護を施した誘導機	いかなる方向からのノズルによる噴流によっても有害な影響を受けない構造
6	波浪に対して保護を施した誘導機	波浪又は強力なジェット噴流によっても有害な影響を与えるだけの水が機内に浸入しない構造
7	浸水に対して保護を施した誘導機	規定の水圧、時間で水中に浸したとき、有害な影響を与えるだけの水が機内に浸入しない構造
8	水中の使用に対して保護を施した誘導機	製造者が規定した条件下の水中で、連続的に運転できる構造 <sup>(1)</sup>

注(1) 通常これは誘導機が密閉していることを意味するが、運転に支障のない程度の水の浸入を認める場合もある。

### 第3章 機器の選定

#### 電動機の保護方式の表わし方



注(1) 屋外形回転機の記号Wは、開放通路冷却式の回転機（保護の程度が IC0X～IC3X のもの）についてのみ使用し、全体カバー、モールド絶縁など、その他屋外対策については、記号Wによる指定は行わない。

表 3.1-3 によく使用する保護方式を示す。

表 3.1-3 よく使用する保護方式（JEC2110 抜粋）

第1数字記号	第2数字記号					
	0	1	2	3	4	5
1			IP12			
2		IP21	IP22	IP23	IP24W	
4					IP44	
5					IP54	IP55

注記 従来から用いられている慣用語の主な例を以下に示す。  
 開放形：IP2X    全閉形：IP4X    防滴形：IPX2    防まつ形：IPX4

### 第3章 機器の選定

#### (c) 冷却方式

電動機を運転すると、その内部に損失を発生するがそのほとんどが熱になる。  
以下に発生する熱量の計算式と計算例を示す。

$$W = \frac{P \times (1 - \eta)}{\eta} \times \frac{860}{2.39 \times 10^{-4}}$$

W : 電動機の発生熱量 [J/h]

P : 電動機出力 [kW]

$\eta$  : 電動機効率

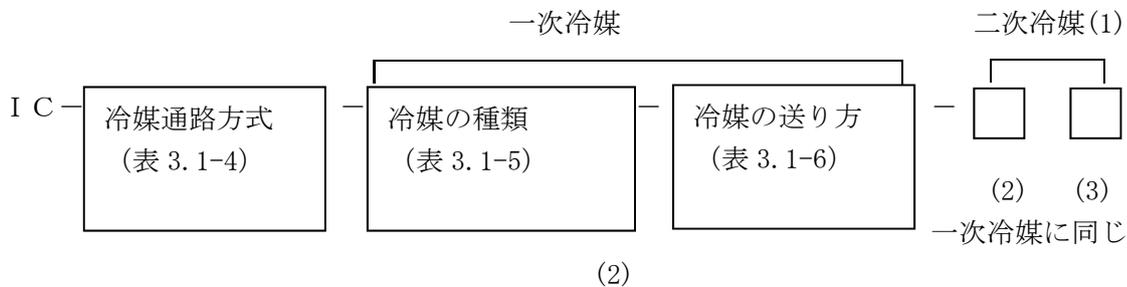
例) 400V、150kW かご形誘導電動機 (効率=93.0%) の場合

$$W = \frac{150 \times (1 - 0.93)}{0.93} \times \frac{860}{2.39 \times 10^{-4}} = 4.06 \times 10^7 \text{ [J/h]}$$

この熱を外部に放散するために何らかの冷却を行う必要がある。  
その冷却方式を次の組合せで分類する。

- ① 冷媒の通路及び熱拡散の種類による方式
- ② 冷媒の種類による方式
- ③ 冷媒の送り方による方式

電動機の冷却方式の表わし方



注(1) 二次冷媒がない場合は省略する。

(2) 文字記号がAの場合は、簡易記号では省略する。

(3) 二次冷媒として水(W)を使用し、数字記号が7の場合は簡易記号では省略する。

(例) 完全記号

簡易記号

I C 8 A 1 W 7 冷媒通路方式 8 : 取付け熱交換器形 I C 8 1 W

(遠方媒体を利用)

一次冷媒の種類 A : 空気 (省略)

〃 送り方 1 : 自力通流

二次冷媒の種類 W : 水

〃 送り方 7 : 他力通流 (別置き装置による通流) (省略)

表 3.1-4 冷媒通路方式 (JIS C 4034-6 参考)

数字記号	名 称	定 義
0 <sup>a)</sup>	自由通流	冷媒は直接、周囲媒体から外被にある開口部を通じて自由に取り入れ、誘導機を冷却してから、自由に直接周囲媒体に戻す。(開放通路)
1 <sup>a)</sup>	入口管又は入口ダクト通流	冷媒は誘導機から離れたところにある媒体から取り入れ、入口管又は入口ダクトを経て誘導機へ導き、誘導機を通過して直接周囲媒体へ戻す。(開放通路)
2 <sup>a)</sup>	出口管又は出口ダクト通流	冷媒は直接周囲媒体から取り入れ、誘導機を通過してから、出口管又は出口ダクトを経て、誘導機から離れたところにある媒体へ放出する。(開放通路)
3 <sup>a)</sup>	両側管又は両側ダクト通流	冷媒は誘導機から離れたところにある媒体から取り入れ、入口管又は入口ダクトを経て誘導機へ導き、誘導機を通過してから出口管又は出口ダクトを経て、誘導機から離れたところにある媒体へ放出する。(開放通路)
4	外被表面冷却形	一次冷媒は誘導機中の閉じた通路を循環し固定子鉄心や、他の熱を伝える部分を介した熱の伝達に加えて、外被表面を通過して、周囲媒体である最終冷媒にその熱を伝える。
5 <sup>b)</sup>	作り付け熱交換器形 (周囲媒体を利用)	一次冷媒は閉じた通路内を循環し、誘導機に作り付けた熱交換器を介して、周囲媒体である最終媒体にその熱を伝える。
6 <sup>b)</sup>	取付け熱交換器形 (周囲媒体を利用)	一次冷媒は閉じた通路内を循環し、誘導機に直接取付けた熱交換器を介して、周囲媒体である最終冷媒にその熱を伝える。
7 <sup>b)</sup>	作り付け熱交換器形 (遠方媒体を利用)	一次冷媒は閉じた通路内を循環し、誘導機に作り付けた熱交換器を介して、遠方媒体である二次冷媒にその熱を伝える。
8 <sup>b)</sup>	取付け熱交換器形 (遠方媒体を利用)	一次冷媒は閉じた通路内を循環し、誘導機に直接取付けた熱交換器を介して、遠方媒体である二次冷媒にその熱を伝える。
9 <sup>b)</sup> <sup>c)</sup>	別置き熱交換器形 (周囲媒体又は遠方媒体を利用)	一次冷媒は閉じた通路内を循環し、誘導機とは別置きした熱交換器を介して、周囲媒体又は遠方媒体である二次冷媒にその熱を伝える。
<p><b>注記</b> 冷媒が空気の場合、通流を通風としてもよい。</p> <p><b>注 a)</b> フィルタやラビリンスを除じんや消音のために外被やダクトに設けることがある。数字記号の0から3は、周囲媒体より低い温度の媒体を取り入れるために熱交換器を通じて、周囲媒体から冷媒を取り入れる誘導機、又は周囲媒体の温度をより低く保つために熱交換器を通じて冷媒を排出する誘導機にも適用する。</p> <p><b>注 b)</b> 熱交換器の種類については規定しない(平滑又はリブ付管、その他)</p> <p><b>注 c)</b> 別置き熱交換器は、誘導機のそばに置く場合と、誘導機から離れた位置に置く場合がある。気体の二次冷媒は、周囲媒体の場合と、遠方媒体の場合がある。</p>		

表 3.1-5 冷媒の種類

文字記号	冷 媒
A <sup>a)</sup>	空 気
F	フロン
H	水 素
N	窒 素
C	二酸化炭素
W	水
U	油
S <sup>b)</sup>	そのほかの冷媒
Y <sup>c)</sup>	未規定の冷媒

注 a) 簡略記号を用いる場合、冷媒を表す文字記号Aは省略する。  
 注 b) 文字記号Sに対しては、冷媒について何らかの形（例えば、技術資料又は仕様書）で規定するものとする。  
 例：IC3S7, Sは仕様書で規定  
 注 c) 冷媒を最終的に選定したときには、一時的に用いた文字記号Yは最終の文字記号に置き換えるものとする。

表 3.1-6 冷媒の送り方

数字記号	名 称	定 義
0	自由対流	冷媒の流れは温度差による。 回転子のファン作用は無視できる。
1	自力通流	冷媒は回転子自身のファン作用によるか、若しくはこの目的のために軸に直接取付けられた部品、又は主機の回転子によって機械的に駆動されるファン若しくはポンプのいずれかによって主機の回転速度に応じて通流する。
2, 3, 4		予備番号
5 <sup>a)</sup>	他力通流 (作り付け装置による通流)	冷媒は、主機から独立して駆動される作り付け装置によって流れ、その動力は主機の回転速度とは無関係である。例えば、主機とは別な電動機によって駆動する内部ファン又はポンプによる通流。
6 <sup>a)</sup>	他力通流 (取付け装置による通流)	冷媒は、主機に取付けた装置によって流れ、その動力は主機の回転速度とは無関係である。例えば、主機とは別な電動機によって駆動する主機取付けファン又はポンプによる通流。
7 <sup>a)</sup>	他力通流 (別置き装置による通流)	冷媒の流れは、別置きした電氣的若しくは機械的装置によるか、又は、冷媒循環システムの圧力による。例えば、給水システム又はガス圧力による通流。
8 <sup>a)</sup>	相対通流	冷媒の流れは、冷媒と誘導機との相対的運動による。冷媒内を誘導機が運動するか又は周囲冷媒（空気又は液体）が流れるかのいずれかによる。
9 <sup>a)</sup>	そのほかの形式	冷媒の送り方を上記以外の方法で行う。 冷媒の送り方を詳細に記述しなければならない。

**注記** 冷媒が空気の場合、通流を通風としてもよい。  
**注 a)** 冷媒通流源としての独立した装置を使用しても、回転子のファン作用、又は主機の回転子に直接取付けられたファンはあってもよい。

(d) 電動機の全体としての形式表現

以上(a)～(c)をまとめ電動機の形式表現は次の様に行う。



ただし、横軸形、空冷形、自力形は一般に多く用いるのでまぎらわしくないかぎり、その表現を省略することができる。次にその例を示す。

例1 横軸形、保護防滴2、空冷、自由通流、自力形、かご形は保護防滴自由通流形かご形とする。  
(形式表現：IP22 IC0)

例2 横軸形、全閉防まつ、取付け熱交換器形(水冷)、自力形、かご形は全閉防まつ水冷熱交換器形かご形とする。(形式表現：IP44 IC8)

例3 立軸形、保護防滴2、空冷、自由通流、自力形、巻線形は立軸保護防滴自由通流形巻線形とする。  
(形式表現：IP22 IC0)

(注) 電動機の全体としての形式表現は製造者により多少異なることがある。

(3) 誘導電動機の構造

(a) 外 観

従来、ポンプ等には、保護防滴自由通流形かご形又は巻線形や、立軸形保護防滴自由通流形かご形又は巻線形が多く用いられていたが、全閉外扇自力通流形かご形が主流となっている。これらの電動機の外観を図 3.1-2～3 に示す。



図 3.1-2 立軸保護防滴自由通流形巻線形電動機の外観例  
(形式表現：IP22 IC0)

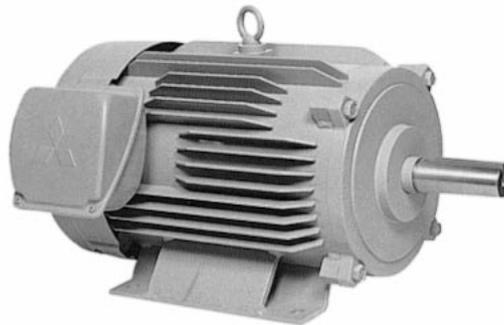


図 3.1-3 全閉外扇防まつ自力通流形かご形電動機の外観例  
(形式表現：IP44 IC41)

(b) 構造

① 主要構成

三相誘導電動機の基本的構造は三相交流電流から回転磁界をつくる固定子と、この磁界によって回転し、負荷設備を回転する回転子に大別できる。更にこれらを電動機として十分機能を発揮し、各種用途にマッチした前述の形式構造を構成するものが必要となる。

ア. かご形誘導電動機

図 3.1-4 に示すかご状回転子導体をもち、構造が簡単、堅牢、取扱い容易、安価のため小容量から大容量まで広く用いられる。この構造を図 3.1-5 に示す。

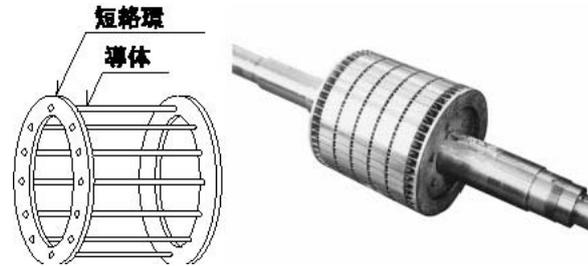


図 3.1-4 かご状回転子の外観例

イ. 巻線形誘導電動機

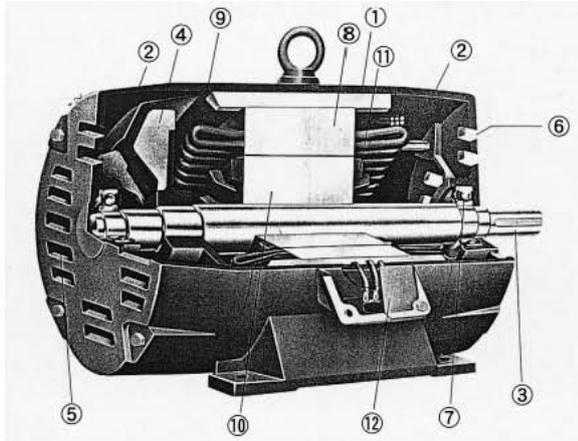
回転子導体として回転子巻線（2次巻線ともいう）を用いスリップリング、刷子を介して外部の始動用抵抗器又は速度制御装置（3.1.4 項参照）と接続できる構造にした電動機であり次のような場合に用いる。

- ・電源容量を小さくするため、始動電流を抑える必要がある場合
- ・制御用抵抗器又は速度制御装置で速度制御を行う場合
- ・負荷の慣性（ $GD^2$ ）が大きいか、始動頻度が高くかご形では対応できない場合

この構造を図 3.1-6 に示す。

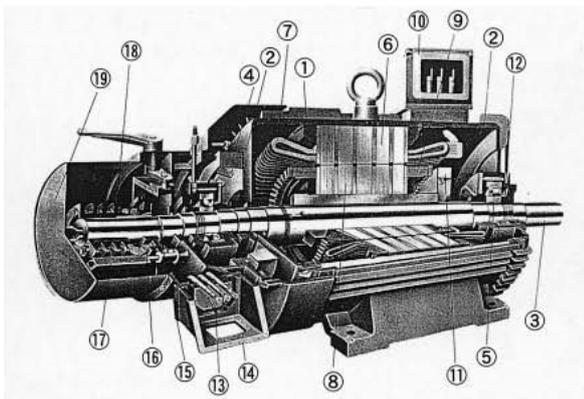
### 第3章 機器の選定

なお、始動が完了した後、2次巻線を短絡して利用する場合、2次短絡装置と刷子引上装置（手動又は電動）を有する刷子引上装置付と、速度制御するため常時スリップリングと brushes が接触して運転する刷子引上装置なしの2種類がある。



名 称	用途・目的
①フレーム	内蔵品を外部影響から保護する
②ブラケット	軸受を支持する
③軸	回転子の回転を支える
④冷却羽根(ファン)	内蔵品を冷却する
⑤冷却風入口	—
⑥ // 出口	—
⑦密封玉軸受	軸を支える
⑧固定子鉄心	回転磁界を誘起する
⑨ // 巻線	人力電源を流す
⑩回転子鉄心	回転磁界を誘起する
⑪ // 導体	うず電流が流れる
⑫端子箱	人力電源と端子接続する

図 3.1-5 防滴かご形誘導電動機の構造例



名 称	用途・目的
①フレーム	内蔵品を外部影響から保護する
②ブラケット	軸受を支持する
③軸	回転子の回転を支える
④冷却羽根(ファン)	内蔵品を冷却する
⑤円筒ころ軸受	軸を支える
⑥固定子鉄心	回転磁界を誘起する
⑦固定子巻線	人力電源を流す
⑧回転子鉄心	回転磁界を誘起する
⑨回転子巻線	うず電流が流れる
⑩端子箱	人力電源と端子接続する
⑪内部冷却羽根	冷却風を発生させる
⑫軸受箱	軸受を収納する
⑬インターロック端子	短絡装置と制御盤を接続する
⑭二次側端子箱	二次巻線と外部抵抗を接続する
⑮刷子上げ短絡装置	回転子巻線を短絡する
⑯ショートスイッチ	同 上
⑰ホルダ棒	ブラシを保持する
⑱スリップリング	回転子巻線と二次抵抗をつなぐ
⑲リングカバー	内蔵品を外部影響から保護する

図 3.1-6 防滴巻線形誘導電動機の構造例

② 軸形式

以下、電動機の構造で重要でしかも留意を要する軸受回りについて詳しく述べる。

a. 横軸形軸受

横軸形軸受の種類とその潤滑方式を表 3.1-7 に示す。

電動機は保守が容易で信頼性の高い事が望まれその軸受には大形又は高速機を除いて一般に「ころがり軸受」を使用している。

なお、水冷却式、強制給油方式の場合は、冷却水及び強制給油用潤滑油の設備が必要となる。

表 3.1-7 横軸形軸受の種類と潤滑方式

軸受の種類		潤滑方式		備考	
ころがり軸受	ボールベアリング	グリース潤滑	密封式	小容量汎用に広く用いる。	
			交換式	—	
	ローラーベアリング	グリース潤滑	油潤滑	油浴式	—
			交換式	—	
すべり軸受	割メタル	オイルリング給油	自冷式	—	
			水冷却式	—	
		強制給油	—	—	

b. 立軸形軸受

立軸形電動機にポンプを連結する場合、電動機の下にポンプが連結されることが多く、スラスト荷重をポンプ側で支持するか、電動機側で支持するかで軸受の種類が異なる。立軸形軸受の種類とその潤滑方式を表 3.1-8 に示す。

表 3.1-8 立軸形軸受の種類と潤滑方式

軸受の種類			潤滑方式	
スラスト・ガイド軸受	ころがり軸受	ボールベアリング	グリース潤滑	密封式 交換式
		ローラベアリング	グリース潤滑	交換式
	すべり軸受	ガイドメタル	油潤滑	油浴式 【※負荷側からのスラスト荷重により上部軸受として使用する】
		セクターメタル式		

特に立軸ポンプで問題になることであるが、電動機の電源を遮断してそのまま放置すると水が逆流し、電動機は逆転をはじめ逸走を起こす場合がある。

このため大容量機械では逆転しはじめる前に真空破壊弁を開くなどの保護装置を設けているが、万一を考えて電動機の機械的強度を増している。また、システム的に逆転が許されない場合には逆転防止装置を設けて、機械的に逆転しないような構造を採用している。

### 3.1.2 誘導電動機の定格と特性

#### (1) 定格出力

定格出力は、定格電圧、定格周波数において電動機軸で得られる機械的回転出力で、kW で示す。一般に連続して定められた温度上昇限度を超過せずポンプ等の負荷を運転できる機械的出力である。

トップランナー制度対象の定格出力は JIS C 4213 に、対象外の定格出力については JEM1188 (1969) による。

トップランナー制度のモータ（2015年4月以降）の対象範囲は、次のとおりである。

- (a) 出力 0.75～375 kW
- (b) 極数 2、4、6 極
- (c) 電圧 1000V 以下
- (d) 形式 単一速度三相かご形誘導電動機
- (e) 主な除外機種 ゲートモータ等

表 3.1-9 誘導電動機の標準出力 単位 [kW] (JIS C 4213 抜粋、JEM 1188)

定格出力
0.75, 1.1, 1.5, 2.2, 3, 3.7, 4, 5.5, 7.5, 11, 15, 18.5, 22, 30, 37, 45, 55, 75, 90, 110, 132, 150, 160, 185, 200, 220, 250, 280, 300, 315, 355, 375 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1800, 2000

(注) 1100kW以上は JEM1188 の規格の規定外であるが、一般に上記に示す出力が多く用いられている。

(2) 極 数

2極、4極、6極、8極……というように2の整数倍で表現される。一般に2、4、6極が多く用いられる。

(3) 同期速度

同期速度  $N_0$  とは回転磁界の回転速度を1分間の回転数で表わし次式で計算する。

$$N_0 \text{ [min}^{-1}\text{]} = \frac{2 \times 60 \times f}{p} \quad \text{[回転毎分 = min}^{-1}\text{]} \quad \begin{array}{l} f : \text{電源周波数 [Hz]} \\ p : \text{極数} \end{array}$$

(例) 4極、電源周波数 50Hz の場合

$$N_0 = \frac{2 \times 60 \times 50}{4} = 1500 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

(4) すべりと回転数

誘導電動機は同期速度よりやや遅い速度で回転する。この遅れの程度をすべりといい次式で表わす。

$$S = \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100$$

- S : すべり [%]
- $N_0$  : 同期速度 [min<sup>-1</sup>]
- N : 実際の回転数 [min<sup>-1</sup>]

### 第3章 機器の選定

(例) 4極、電源周波数 50 [Hz] の場合、ある負荷を負って  $N=1470$  [rpm] で回転しているときのすべりは次式で示される。

$$S = \frac{1500-1470}{1500} \times 100 = 2.0 [\%]$$

定格出力つまり全負荷を負って回転しているときのすべりを特に全負荷すべりという。

すべりは式からわかるように電動機停止時は 100 [%]、同期速度で回転すれば 0 [%] である。

一般に無負荷（空回り時）ではほとんどすべりは 0 [%] で、負荷を増加するにしたがって、回転数が低下するのですべりは増加する。

（図 3.1-7 参照）

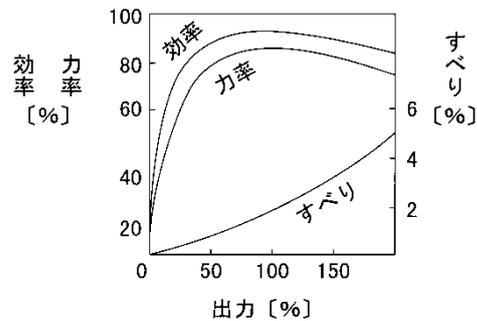


図 3.1-7 出力と効率、力率、すべりの一般的関係

#### (5) 効 率

電動機は電氣的エネルギーを受け機械的回転エネルギーを出力するエネルギー変換装置である。このエネルギー変換時電動機内部でいくらかの損失（コイルの抵抗損、鉄心の磁気エネルギー損失、回転時の軸受摩擦損、冷却ファンの損失等々）を生じる。この出力の入力に対する比を効率といい次式で表わす。

$$\text{効率 } \eta = \frac{\text{有効出力}}{\text{有効入力}} \times 100 = \frac{\text{有効入力} - \text{損失}}{\text{有効入力}} \times 100 [\%]$$

有効出力：機械的回転出力

有効入力：電氣的入力

効率は一般に定格出力付近で最大となるように設計され、また、出力の大きい電動機ほど定格出力時の効率は高い。

図 3.1-7 に出力と効率、力率、すべりの一般的関係を示す。

#### (6) 力 率

(a) 電動機の出力と力率の関係は図 3.1-7 の一般的関係に示すように無負荷で 5~20 [%] と極めて低く、負荷の増加とともにその力率も上昇し全負荷近くで最大になる。

力率の改善はコンデンサを電動機と並列に入れることにより行われるが、コンデンサの容量の計算は 2.5.2 項で記述するので、ここでは省略する。

なお、改善後の力率を 100 [%] とすることは必要コンデンサ容量が非常に大きくなり不経済で、一般には、90~95 [%] を力率改善の目標とする。また、過大なコンデンサ容量（励磁電流相当分以上）を並列に接続することは避けなければならない。その理由は、コンデンサを電動機と並列のまま電源から切離すと、コンデンサの残留電荷が電動機を励磁し、電動機定格電圧以上の異常電圧を発生するいわゆる自励現象を発生し、絶縁劣化を生ずるおそれがあるからである。

(b) 各種計算に用いる電動機の効率と力率は、低圧電動機についてはトップランナー制度の対象となる電動機が JIS C 4213、対象外の場合は JIS C 4210、3 [kV] 高圧電動機については JEM1381 による。また、6 [kV] 高圧電動機については図 3.1-9、10 に示す値を用いる。JIS C 4210(2010) 及び JEM 1381(1993) を参考資料 7.5 に示す。

(7) すべりとトルク（回転力）及び電流の関係

図 3.1-8 に誘導電動機のすべり・トルク・電流の関係例を示す。電動機が停止しているときに電圧を加えると、電流  $I_s$  が流れ、トルク  $T_s$  が発生する。この  $I_s$  が始動電流、 $T_s$  が始動トルクである。

$T_s$  が負荷の必要とするトルクより大きければこの差が加速トルクとなって電動機は回転を始める。 $I_s$  の値は極数、出力などによって異なるが普通かご形電動機では全負荷電流の 500~900 [%] である。（巻線形の場合は二次側に抵抗を挿入して  $I_s$  を 100~150 [%] 程度にしている。）

電動機が回転を始めれば、すべりの変化（回転数の変化）とともにトルクも変化し、ある点（図 3.1-8 においてすべり  $S_m$ ）で最大値  $T_m$ （これを最大トルクという）に達し同期速度（ $S = 0$ ）でトルクは零となる。

一方、始動電流  $I_s$  は回転の上昇とともにゆるやかに減少するが最大トルク  $T_m$  直前から急速に低下し始め、定格出力の負荷を負っていれば定格電流で落ちつく。もし、無負荷であればほとんどすべり 0 [%]（同期速度付近）の点に落ちつく、この時の電流を無負荷電流という。

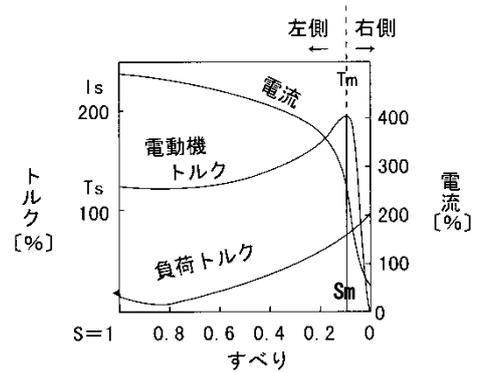


図 3.1-8 すべり・トルク・電流特性例



### 第3章 機器の選定

$T_m$  の値は、ポンプ用の電動機で普通定格トルクの 180~300 [%] である。トルクとすべり及び出力の関係はトルク  $T$  を [N・m] で表わせば、

$$T = \frac{9,550 P}{N}$$

$$P = \frac{N \times T}{9,550}$$

$$P = 1.047 \times N_0 (1-S) T \times 10^{-4}$$

$P$  : 出力 [kW]

$N$  : 全負荷回転数 [ $\text{min}^{-1}$ ]

$N_0$  : 定格回転数 [ $\text{min}^{-1}$ ]

$S$  : すべり

$T$  : トルク [N・m]

で示される。

電動機として安定した運転をなし得るのは図 3.1-8 に示すように  $T_m$  より右側の部分であって、左側の部分は始動時に短い時間で通過する。もし  $T_m$  を超える負荷がかかった場合、電動機は停止する。(詳細 3.1.5(1)誘導電動機の選定要領を参照)

#### (8) 比例推移

巻線形誘導電動機の二次側に抵抗を挿入するとトルク特性が変化する。

今、二次挿入抵抗で二次巻線を含めた二次側の抵抗を  $m$  倍にしたとすると、同一トルクを発生するすべりがもとの抵抗値のすべりの  $m$  倍になる。これが誘導電動機の比例推移といわれる現象であって、巻線形誘導電動機の始動、速度制御などに利用されている。

図 3.1-11 に二次抵抗を変化させた場合のすべりに対するトルク・電流の関係例を示す。

#### (9) 電動機絶縁

電気機械の絶縁の種類は、耐熱特性により Y 種、A 種、E 種、B 種、F 種、H 種に区別されている。

一般に Y 種は使用されない。

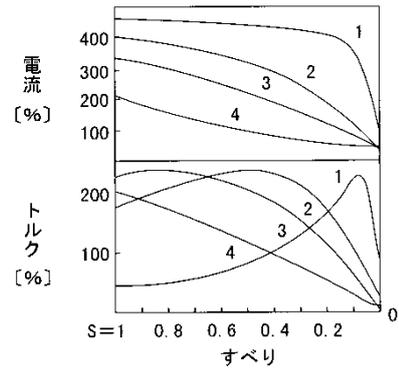
許容最高温度は次のとおりである。

Y 種 90°C、A 種 105°C、E 種 120°C、B 種 130°C、F 種 155°C、H 種 180°C

一般に低圧電動機には E、B、F 種絶縁が、高圧電動機には F 種絶縁が用いられている。

#### (10) 温度上昇

JEC-2110(2017)に規定されている誘導機の温度上昇限度を表 3.1-10 に示す。



(注) 図中1→4の順に2次抵抗大→小を示す。

図 3.1-11 二次抵抗を変えた時のすべりとトルク、電流の関係例

表3.1-10 誘導機の温度上昇限度 (JEC 2110 抜粋)

項目	誘導機の部分	耐熱クラス														
		105(A)			120(E)			130(B)			155(F)			180(H)		
		温度計法	抵抗法	埋込温度計法	温度計法	抵抗法	埋込温度計法	温度計法	抵抗法	埋込温度計法	温度計法	抵抗法	埋込温度計法	温度計法	抵抗法	埋込温度計法
1a)	出力5000kW (又はkVA) 以上の誘導機の固定子巻線	—	60	65 <sup>a)</sup>	—	75	80 <sup>a)</sup>	—	80	85 <sup>a)</sup>	—	105	110 <sup>a)</sup>	—	125	130 <sup>a)</sup>
1b)	出力200kW (又はkVA) 超過, 5000kW (又はkVA) 未満の誘導機の固定子巻線	—	60	65 <sup>a)</sup>	—	75	80 <sup>a)</sup>	—	80	90 <sup>a)</sup>	—	105	115 <sup>a)</sup>	—	125	135 <sup>a)</sup>
1c)	出力200kW (又はkVA) 以下で, 項目1d) 又は1e) 以外の誘導機の固定子巻線 <sup>b)</sup>	⊖	60	—	⊖	75	—	80	—	—	⊖	105	—	⊖	125	—
1d)	出力600W (又はVA) 未満の誘導機の固定子巻線 <sup>b)</sup>	⊖	65	—	⊖	75	—	85	—	—	⊖	110	—	⊖	130	—
1e)	冷却扇なしの自冷形 (IC40) ・モールド絶縁巻線 <sup>b)</sup>	—	65	—	—	75	—	85	—	—	—	110	—	—	130	—
2	絶縁を施した回転巻線 <sup>b)</sup>	—	60	—	—	75	—	80	—	—	—	105	—	—	125	—
3	かご形巻線	この部分の温度上昇又は温度は, その部分の絶縁物や近傍の材料に有害な影響を与えてはならない。														
4	ブラシ及びブラシホルダ, スリップリング, 整流子	これらの部分の温度上昇又は温度は, その部分の絶縁物や近傍の材料に有害な影響を与えてはならない。また, ブラシ材料とスリップリング又は整流子材料の組合せで, 全運転範囲における電流を扱えるような温度範囲に収まらなければならない。														
5	絶縁物との接触に関係なく鉄心とすべての構造構成物 (軸受を除く)	これらの部分の温度上昇又は温度は, その部分の絶縁物や近傍の材料に有害な影響を与えてはならない。														
注 <sup>a)</sup>	高電圧固定子巻線の場合に補正が適用される項目															
注 <sup>b)</sup>	耐熱クラスが105 (A), 120 (E), 130 (B), 155 (F) であり, 定格が200kW (又はkVA) 以下である誘導機巻線に重ね合わせ等価負荷法を適用する場合は, 抵抗法の温度上昇限度を5Kだけ超えてもよい。															
注 <sup>c)</sup>	製造者と使用者/購入者間で協定がある場合は, 温度計法によって決定してもよい。															

### (11) 騒音

騒音とは、その存在が好ましくない音の総称であり、物理的性質だけでなく、聞く人の心理的、生理的な影響をも考える必要がある。

騒音レベル〔dB〕は耳に感ずる音の大きさに近いように補正された量を表わすものであり、騒音計の周波数特性のうちA特性が最も聴覚の特性に近いところから、電動機の騒音レベルはA特性によることになっている。電動機の騒音発生原因は、①機械騒音、②通風騒音、③電磁音に大別される。

騒音原因は種々あるが、通風騒音が大きな部分を占めることが多い。

したがって騒音で問題を生ずる場合、サイレンサを付属し、冷却風の吸排気はすべてサイレンサを通して行なうようにする。

サイレンサ付の低騒音形誘導電動機としては、

(a)サイレンサ付防滴自由通流形電動機

(b)サイレンサ付全閉防まつ外被表面冷却自由通流形電動機

がある。また、全閉防まつ水冷取り付け熱交換器形誘導電動機は全閉形となるためサイレンサ付よりも更に低騒音とすることができる。

なお、低圧汎用電動機では最初から低騒音設計した低騒音形電動機が製作されており、適用することが容易である。

一般低圧三相かご形誘導電動機、高圧（3kV）三相かご形誘導電動機の騒音レベルはJEM1313(1983)、JEM1381(1993)に規定されている。

これらの騒音レベルより更に低騒音とする場合には上記のような対策をほどこした電動機を用いる。

### 3.1.3 誘導電動機の始動方式

#### (1) かご形誘導電動機の始動

誘導電動機が静止しているとき定格電圧を加えれば定格電流の500～900〔%〕の大きな電流が流れる。

この電流（始動電流）は力率が悪く、電源容量が小さい場合には著しく電圧を降下させ電磁接触器の離落あるいは系統に接続されている他の機器に対して悪影響を与える。

かご形誘導電動機は、その構造上、始動時に二次側回路に抵抗を挿入することができないので、始動電流の制御は、一般には電動機の一次側電圧を変化させて行う。この場合、始動電流は端子電圧に比例し、始動トルクは端子電圧の2乗に比例する。したがって、各種減電圧始動方式が考案され実用に供されている。なお、それらの始動方式及び減電圧タップの値を決定するには、電源容量及び負荷の始動時に必要とするトルクなどを十分に考慮して行わなければならない。

また、大容量の巻線形電動機からかご形電動機に更新する際には、電圧変動が大きくなることから電力会社に電圧変動値及びフリッカ許容値を問合せの上、過渡的電圧変動に問題ないか確認が必要である。

電圧降下が生じると同じ送電線から電力を供給されている他の需要家に悪影響を及ぼすため、受電点における電圧降下率（ $\Delta V$ ）以下であることの確認が必要である。確認に当たっては送電線のインピーダンス（%R、%X）を電力会社に確認する必要がある。

需要家側は許容電圧降下率以下にするための始動方式の検討を行う必要があるが、始動方式の検討でも許容電圧降下率を満たせない場合は、電力会社と送電線の張替え等の協議を行う必要がある。

フリッカとは、負荷の変動によって配電電圧が短時間の周期的変動を繰り返す現象であり、照明のちらつきや機器の動作不良などの悪影響を生じさせることがある。

このフリッカ対策としては需要家における対策と電源側における対策があり、それぞれの対策は以下のとおりである。

- ① 需要家側における対策では配電用変圧器の容量を上げることやフリッカ抑制装置の設置である。
- ② 電源側（電力会社）における対策では、送電線の変更・張替えや電圧降下補償装置の設置、専用線の採用等である。この場合、電力会社との協議を行う必要がある。

以下各種始動方式の内容を説明し、その適用については3.1.5(1)(d)③項で述べる。

(a) 全電圧始動（直入れ始動）

端子に直接電源を加えて始動する方法で、通常始動電流は定格電流の500～900 [%]、始動トルクは100～200 [%]である。この始動方法は主として小容量電動機を中心に広く用いられている。（図3.1-12参照）

(b) スターデルタ始動（人-△始動）

一次巻線を星形接続（人）にして始動し、ほぼ定格速度に達したとき、これを三角接続（△）する始動方式で、図3.1-13において電磁接触器MS1、MS2を閉として人接続で始動し、ほぼ定格速度になった時間後MS2を開き、MS3を閉にして始動が完了する。この場合MS2が開となるため一次巻線が開放となり、MS3が入る時始動電流程度の電流が再び流入する可能性がある。この改善策として図3.1-14に示すようにMS4を閉にして抵抗を通して仮に△にしてからMS2を開にし、すばやくMS3を閉、MS4を開とし始動を完了する。この方法をクローズド人-△始動方式といい、一次巻線が開放されず、再突入のおそれはなくなるため、かご形電動機を非常用発電機で始動する場合等にも有効である。

オープン人は5.5kW以上で無負荷又は軽負荷始動できるものに適用され、クローズド人は5.5kW以上のポンプ等ある程度負荷をかけて始動するもので電源容量の小さい場合に適用される。クローズドのほうがデルタ切替時のショックが小さい。

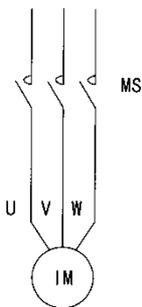


図3.1-12 全電圧始動図

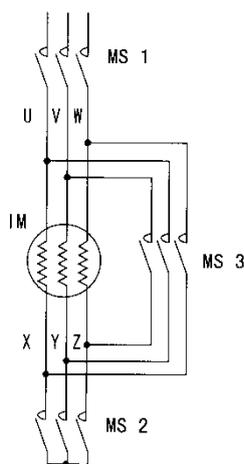


図3.1-13 人-△始動

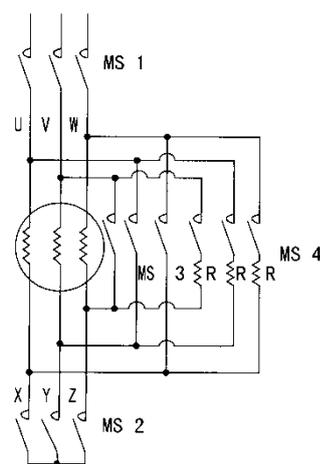


図3.1-14 クローズド人-△始動

(c) コンドルファ始動

この始動方式は始動変圧器を用いて始動し、次に変圧器の中性点を切離してリアクトルとして利用し、最後にリアクトルを短絡して始動を完了する方式である。この方式によれば電源から流れる始動電流は補償器の電圧タップの2乗により減少し、始動トルクもこのタップの2乗により減少する。したがって、良好な始動特性が得られる。他の方式と比べてやや設備費が高くなる。

(図 3.1-15 参照)

(d) リアクトル始動

一次回路に直列にリアクトル（このリアクトルを始動リアクトルという）を入れ始動する方法である。この方法は直列に入れたリアクトル中で電圧を降下させるものであるから補償器始動に比べて始動時入力 [kVA] は大きくなる。しかし、補償器始動、コンドルファ始動より安価で比較的良好的な始動が得られるので良く用いられる。(図 3.1-16 参照)

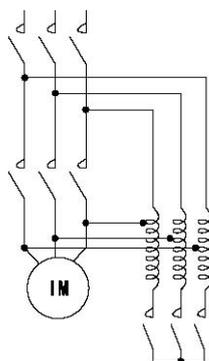


図 3.1-15 コンドルファ始動

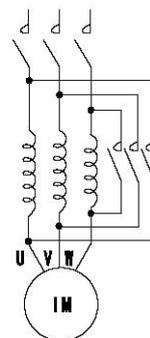


図 3.1-16 リアクトル始動

以上の各種始動法の電動機に印加される端子電圧、始動トルク、始動電流をまとめて表 3.1-11 に示す。

表 3.1-11 かご形電動機の始動法別端子電圧、始動トルク、始動電流

(土地改良計画設計基準「ポンプ場」技術書 6.1.1.1 主ポンプ用電動機より抜粋)

始動方式		端子電圧 電源電圧	始動トルク 全電圧始動トルク	始動電流 全電圧始動電流	
かご形誘導電動機	直入れ (全電圧始動)	1.0	1.0 (70~150%)	1.0 (500~900%)	
	減電圧	人-Δ 始動 オープン回路	0.577 (=1/√3)	0.333	0.667
		クローズド回路	0.577 (=1/√3)	0.333	0.333
		リアクトル始動			
		80% タップ	0.80	0.64	0.80
		65% タップ	0.65	0.42	0.65
		50% タップ	0.50	0.25	0.50
	始動	コンドルファ始動			
		80% タップ	0.80	0.64	0.64
		65% タップ	0.65	0.42	0.42
50% タップ		0.50	0.25	0.25	
	特殊コンドルファ始動 50%→70%2 段タップ	0.5→0.7	(0.25)→0.49	0.25 (発電機) 0.49 (商用電源)	
	V V V F 始動	—	1.0	0.167	

- 注 1) 本表の数値は、直入れ（全電圧始動）を 1.0 としたときの他の始動方式について比率で表している。
- 2) かご形誘導電動機の直入れ始動の場合の始動トルクは定格値の 70～150%、始動電流は定格値の 500～900%である。トップランナーモータの場合は、これらの確認が必要である。
- 3) タップ値はメーカー参考値である。
- 4) 特殊コンドルファ始動は、発電機の過渡時最大電圧降下による出力を低減させる目的で用いる始動方式で、初期始動用 50%タップで始動し、加速用 70%タップに自動昇圧する。始動トルクは比率 0.49 と考えて良いが、始動電流は、発電機の容量を決める際には 0.25、商用電源の変圧器容量を決める際には 0.49 と考える必要がある。（一般社団法人日本内燃力発電設備協会 NEGA C201）

(2) 巻線形誘導電動機の 2 次抵抗による始動と速度制御

a 巻線形誘導電動機の始動

巻線形誘導電動機では先に述べた比例推移を利用して二次抵抗により定格運転近辺の点を始動の点まで推移させて使用するので、始動電流は小さく（一般に定格電流 100～150 [%]）始動力率も良いため、かご形誘導電動機に比べ始動特性は非常にすぐれているとともに始動時の電源容量が小さくてすむ（図 3.1-17 参照）。二次抵抗は速度が上昇するにしたがって順次小さくしていき最後に短絡する。このように二次抵抗を変化させて始動電流又は始動トルクを制限する方法を二次抵抗始動という。図 3.1-18 に始動時のすべりに対するトルクの関係例を示す。

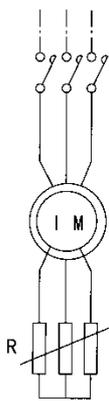


図 3.1-17 二次抵抗始動

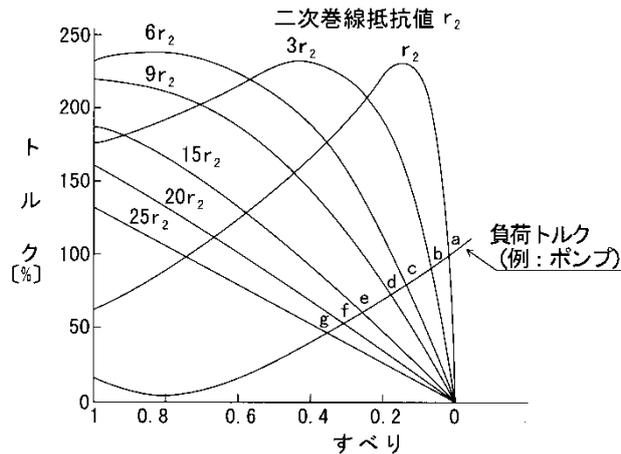


図 3.1-18 巻線形誘導電動機の二次抵抗変化時（始動時及び速度制御時）のすべりとトルクの関係例

b 巻線形誘導電動機の 2 次抵抗による速度制御

2 次抵抗の挿入による速度制御は、前述の比例推移を利用したもので、図 3.1-18 に示すようにポンプを定格運転点で運転中 2 次抵抗を  $r_2$ ,  $3r_2$ ,  $6r_2$ , ……と増加すると、運転点は a, b, ……のように減速する。つまり 2 次抵抗値を加減するだけで簡便に速度制御を行うことができる。しかし、減速時も定格出力のまま二次電力を熱として放出する分効率が悪い。

一般的に無段階で速度制御する場合には液体抵抗器の使用が望ましい。

(3) 巻線形誘導電動機の制御器

巻線形誘導電動機の2次抵抗始動用制御器及び速度制御用制御器には金属抵抗器と液体抵抗器とがある。

- ・ 始動用制御器
  - ・ 金属抵抗器及び制御器  
巻線形電動機の始動用に広く用いられる。
  - ・ 液体抵抗器  
主として大容量巻線形電動機に用いる。
  
- ・ 速度制御用制御器
  - ・ 金属抵抗器及び制御器  
クレーン用等多く用いるが、ポンプの速度制御には段階的でスムーズな制御が難しいのでほとんど用いられない。
  - ・ 液体抵抗器  
速度制御を行う巻線形電動機に広く用いる。

a 始動用金属抵抗器及び制御器

始動抵抗器は一般に特殊鋳鉄製グリッド抵抗を用い、その外観を図3.1-19に示す。

電動機を加速するために抵抗器を順次短絡(抵抗値を小さくする。)する始動制御器を組合せて用いる。

また、始動制御器は遠方操作を行うことが多く、電動操作とするのが一般的である。

なお、手動操作も可能である。

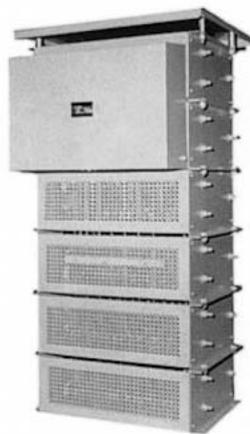


図 3.1-19 屋内開放形始動抵抗器外観例



図 3.1-20 電動操作始動制御器外観例

始動制御器の外観と内部構造を図 3.1-20 と図 3.1-21 に示す。

電動機を始動する場合、電動機及び負荷のGD2（慣性）を定格回転数に上昇するためのエネルギーのほとんどが始動抵抗器で熱となる。

したがって、停止中の電動機を繰返し始動できる回数は始動抵抗器の熱容量の関係から標準始動回数が JEM1023 (1968) で次のように規定されている。

適用電動機定格出力	始動用金属抵抗器 (気中) に対する 標準始動回数
電動機出力 40 [kW] 以下	3 回 (注)
電動機出力 40 [kW] 超過	2 回 (注)

(注) 停止電動機をくりかえし (停止のための 冷却時間は考えない)  
始動できる標準回数

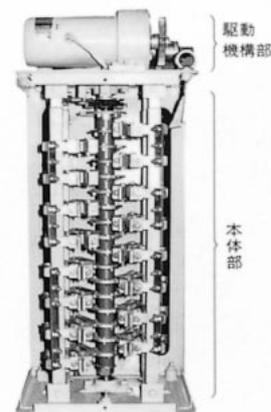


図 3.1-21 電動操作始動制御器内部例

b 始動用及び速度制御用液体抵抗器

液体抵抗器は、炭酸ソーダ溶液中

(通常 1～5%濃度) で可動電極を上下して、固定電極間の抵抗値を連続的に変化させることができる構造になっている。これは、金属抵抗器では抵抗値を段階的にしか変化できないのに対し大きな長所である。

電極の上下操作は遠方操作及び自動制御運転が多いので、一般に電動操作を用いる。なお、手動操作も可能である。

また、大容量始動用及び速度制御用では、始動及び速度制御 (電動機のすべり) で発生する熱容量の関係から水冷式又は冷却器付液体循環式を用いる。図 3.1-22 に液体抵抗器の外観例を示す。

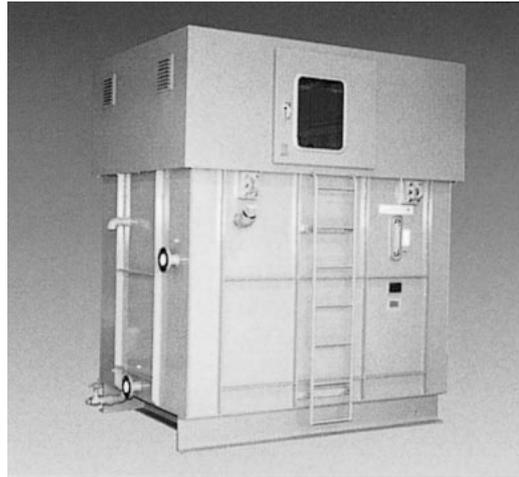


図 3.1-22 液体抵抗器の外観例

表 3.1-12 に液体抵抗器の始動抵抗器及び速度制御用の適用の一例を示す。

表 3.1-12 液体抵抗器適用の一例

(a) 始動抵抗用

定格		適用電動機容量 [kW]		水溶液量 [リットル]
最高二次電圧 [V]	最高二次電流 [A]	全負荷始動	軽負荷始動	
1800	800	1000	1500	900
2400	1100	2000	3000	1500
3000	1500	4000	6000	2000
3600	2000	6000	10000	3000
3600	2500	10000	—	4000

注 1. 適用電動機の特性、負荷の慣性などにより異なる場合がある。

(b) 速度制御用

定格		適用電動機容量 [kW]	水溶液量 [リットル]	所要冷却水量 [リットル/min]
最高二次電圧 [V]	最高二次電流 [A]			
1800	450	450	900	100 ~ 150
1800	450	600	900	100 ~ 250
2400	650	1000	1500	200 ~ 300
3000	850	2000	2000	300 ~ 400
3600	1100	3500	3000	400 ~ 600
3600	1500	5000	4000	600 ~ 1000

注 1. 適用電動機容量は電動機の特性、運転条件などにより異なる場合がある。

2. 適用電動機容量は 2 乗てい減トルク負荷の場合である。

c 液体抵抗器の残留抵抗

電動機の始動完了時又は速度制御運転の最高速度時は液体抵抗器の可動及び固定電極の極間が最小となっているが、わずかに抵抗値が残る。この最小抵抗値のことを残留抵抗という。

この残留抵抗が電動機の2次回路に加算接続される結果となり、前述の比例推移により、残留抵抗がある場合のすべりが2次短絡運転時のすべりより大きくなる。

この結果、液体抵抗器を短絡して運転に入る時、瞬間的に過大電流が流れる場合があるので注意を要する。

したがって、残留抵抗の影響を軽減するため、金属抵抗器を液体抵抗器と並列又は直列に接続し、並列抵抗は2次短絡前に投入、直列抵抗は順次短絡してから2次短絡を行うなどの対策を要する場合がある。

(4) 始動頻度と  $GD^2$

電動機を始動する場合、1回の始動で回転子側回路に発生する損失は、電動機の機械損及び負荷の反抗トルクを無視すれば次式で表わされる。

$$W = \frac{GD^2 \times N^2}{730} \quad [J]$$

W：回転子回路に発生する損失 [J]

N：定格回転速度 [ $\text{min}^{-1}$ ]

$GD^2$ ：電動機回転子の慣性と電動機軸に換算した負荷慣性の和 [ $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ]

この損失Wは巻線形の場合、そのほとんどが二次挿入抵抗中で発生するが、かご形の場合では回転子導体内で発生するため二次導体の温度は始動時に急激に上昇する。

したがって、始動、停止をくり返すと回転数の高い場合又は  $GD^2$  が大きい場合においては回転子はバー及びエンドリングの膨張、縮小あるいは振動による疲労のため回転子バーが切損したり、始動時発熱のため固定子コイルが焼損することがある。許容始動頻度の限度は、電動機の実出力、極数、負荷  $GD^2$ 、設計内容などによって異なってくるが、1日数回を超えるもの、特に水位による自動運転を行うような場合など、あるいは頻度は少なくとも負荷  $GD^2$  が表 3.1-13 の値を超える場合には、かご形電動機においては設計製作に特別な考慮を払うか、又は巻線形誘導電動機を使用するかを十分に検討する。(参照：設計基準「パイプライン」技術書 10.3.2 ポンプによる制御方法)

なお、JEM 1224(1990)に規定されている高圧三相かご形誘導電動機の負荷  $GD^2$  の許容値を表 3.1-13 に示す。この値を超える負荷  $GD^2$  のものは特別な考慮を必要とする。

表 3.1-13 高圧三相かご形誘導電動機の負荷  $GD^2$  の許容量値例

単位  $[N \cdot m^2]$

極数 周波数 〔Hz〕 出力〔kW〕	2		4		6	
	50	60	50	60	50	50
45	150	100	720	490	1900	1200
55	190	120	870	550	2300	1500
75	250	160	1100	740	3100	2000
90	290	190	1300	880	3700	2300
110	350	230	1600	980	4400	2800
132	410	260	1900	1200	5100	3300
160	470	300	2300	1400	6100	4000
200	580	380	2800	1800	7600	4900
250	710	460	3500	2200	9300	5900
280	750	490	3800	2400	9800	6400
315	850	550	4200	2600	11000	7400
355	940	610	4700	2900	13000	8100
400	980	670	5100	3200	14000	9200
450	1100	740	5700	3600	16000	9800
500	1300	810	6300	4100	17000	11000

注1 上表の数値は、負荷側の  $GD^2$  を電動機軸に換算した値を示す。

2 定格電圧、定格周波数で、直入れ始動を行うものとする。

3 電動機各部の温度が、周囲温度に等しい状態から始動する場合は、連続2回（ただし第2回目の始動は第1回目の始動が行われた後、電源を切って自然停止させた後行うものとする）とし、各部の温度が定格負荷で連続使用したときの温度を超えない状態から始動する場合は、1回とする。

4 負荷トルク（加速時間中）は、回転速度の2乗に比例し、定格回転速度において電動機の定格トルクを超えないものとする。

5 回転体の慣性  $GD^2$  について

車を発進する時、すぐに一定の速度に上げることはできない。また、走行中の車をすぐに止めることはできない。この現象は車（質量のある物体）の慣性によるものである。

ポンプ等の回転体も同様に慣性を持っているので、停止状態から定格回転数に加速する時は加速トルクとある加速時間を要する。ポンプの慣性は割合小さいがプロワ等（直径が大きくその外周に質量が集っている形の回転体ほど慣性が大きい）は慣性が大きい。

3.1.4 誘導電動機の世界制御方式

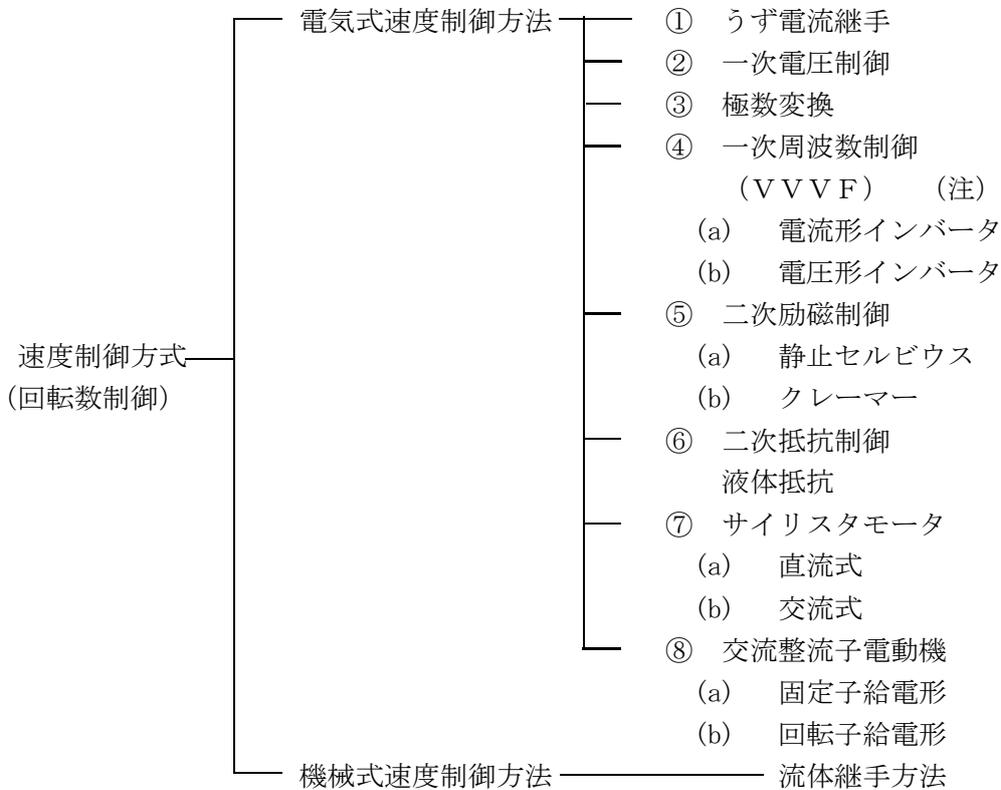
(1) ポンプの世界制御の特長

ポンプの世界制御には次のような特長があるので、検討のうえ制御方式を決定する必要がある。

- ① ポンプの軸動力は回転数の3乗に比例する。
- ② ポンプの吐出量は回転数に比例する。
- ③ ポンプで発生する揚程は回転数の2乗に比例するので送水管路特性との関係を検討して、制御範囲を決定する必要がある。
- ④ 逆転制御の必要がなく、制動トルクを発生する必要がない。
- ⑤ 世界制御の速応性の必要は少ない。
- ⑥ 信頼性が高く、維持管理が容易であること。

(2) 世界制御方式の分類

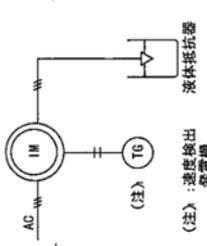
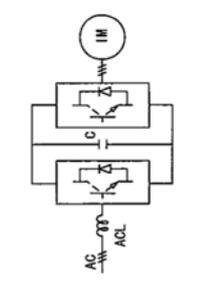
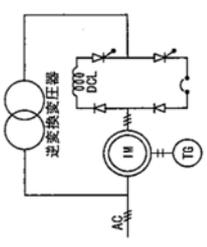
世界制御方式には各種の方法があるが、代表的な種類を図3.1-23に示す。これらの内、現在多く用いられている世界制御方式と適用範囲を表3.1-14に示す。



(注) VVVF=Variable Voltage Variable Frequency ,

図 3.1-23 世界制御の方式の種類表

表 3.1-14 各種速度制御方式

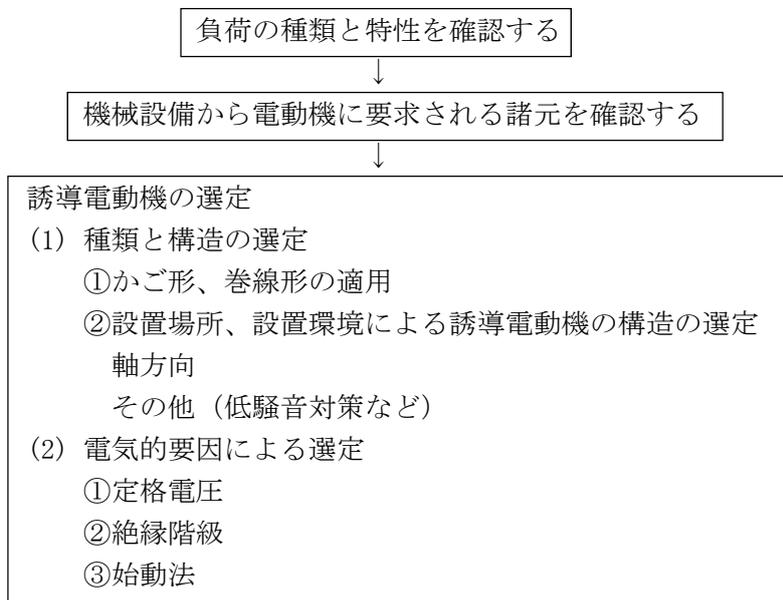
制御方式	二次抵抗制御	一次周波数制御 (VVVF)	静止セルピウス
主電動機	巻線形誘導電動機	三相ブリッジ (コデック平滑) かご形誘導電動機	巻線形誘導電動機
構成	 <p>(注) : 速度検出発電機 (注) : 液体抵抗器</p>	 <p>かご形誘導電動機</p>	 <p>巻線形誘導電動機</p>
価格比 (注) 1	80	100	140
制御方法	巻線形誘導電動機の二次抵抗値を調整して速度制御する。二次抵抗器には制御をスムーズにするため液体抵抗器を用いる。操作方式は遠方及び自動制御を行う関係上電動操作とする。(切替で手動が可能。)	トランジスタインバータにより出力周波数および電圧を可変して速度制御する。	サイリスタインバータの点弧角を調整して直流逆電圧を印加し速度制御する。二次出力をサイリスタインバータにより電源周波数の交流に変換する。
出力範囲	数十～1000 [kW]	0.75～数百 [kW]	数百～数千 [kW]
速度-トルク特性	<p>(a)→(d) : 二次抵抗大 10-100(%) (100%速度)</p>	<p>(a)→(d) : 高調波大 10-100(%) (100%速度)</p>	<p>(a)→(d) : 逆変換電圧大 50-100(%) (100%速度)</p>
速度制御範囲	<p>1. 構成が単純であるが、ブラシ等の保守が必要。 2. 二次電力をすべて二次抵抗で熱として放出するので効率が悪い。 3. 制御範囲が他の方式に比し狭い。</p>	<p>1. 電源側高調波を大幅に低減できる。</p>	<p>1. 無段階速度制御ができる。 2. 複数台の一括制御が可能である。 3. 始動抵抗器が必要。 4. 速度範囲が狭くなるにつれ、装置は小形となる。</p>
特徴			

(注)1:315kW相当の参考値を示すが、電動機の容量、高調波抑制装置の有無により異なるので、その都度価格比較が必要となる。(注)2:PWM Pulse Width Modulation

### 3.1.5 誘導電動機の選定要領

#### (1) 誘導電動機の選定要領

以下に誘導電動機の選定要領フローを示し、各選定要領を説明する。



#### (a) 負荷の種類と特性

負荷として次のようなものが挙げられる。

##### (ア) 各種ポンプ及びその補機

（電動弁、冷却水ポンプ、封水ポンプ、ストレーナ、真空ポンプ他）

##### (イ) ゲート及びその補機（油圧ポンプ他）

##### (ウ) 除塵機

##### (エ) 各種電動バルブ

##### (オ) 予備発電設備用補機（燃料移送ポンプ、潤滑油ポンプ、冷却水ポンプ他）

##### (カ) 電動機補機（刷子引上装置用及び始動又は速度制御抵抗器用電動機）

##### (キ) クレーン用

##### (ク) その他（換気装置他）

これらの負荷は図 3.1-24 の実線で示すような速度－トルク特性を持っているので、点線で示すような右下りの特性を持つ電動機で駆動することにより安定運転ができる。

このような右下りの速度－トルク特性を持つ電動機は多数あるが、経済性、保守性、取扱いの容易さ等から図 3.1-25 で示す誘導電動機が適している。

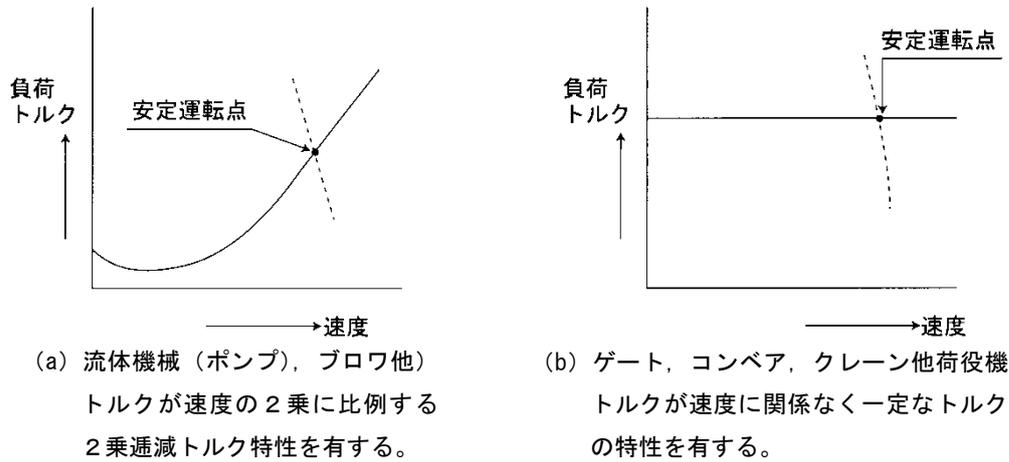


図 3.1-24 負荷の要求するトルク

次に、これら機械設備の機能を十分満足するとともに全体システムとしての機能を十分発揮できるように電動機が計画設計される。これら電動機の諸元を求める設計については、土地改良事業計画設計基準を参照されたい。

以上から機械設備設計によって次項のような電動機に対する要求諸元が求められる。

(b) 電動機に要求される諸元

(ア) 用途：機械設備名称及び用途

(例) ○○ポンプ用

(イ) 電動機定格出力 [kW]、台数

(ウ) 電動機に対する必要トルク（負荷の速度—トルク曲線、始動トルク、最大トルク、定格トルクなどで示される。）

(エ) 電動機の時間定格（一般に連続定格であるがクレーン、ゲート等は反復定格、短時間定格のものが多い。）

(オ) 電動機回転数 ( $\text{min}^{-1}$ ：1分間の回転数) 又は極数及び周波数。

(カ) 電動機の軸方向（ポンプではその種類により横軸／立軸共広く用いられる。一方その他の負荷は一般に横軸が多く用いられている。）

(キ) 電動機の連結（一般に直結が多い）

(ク) 電動機の機械設備との取付方法

(ケ) 電動機軸換算  $G D^2$ （慣性）

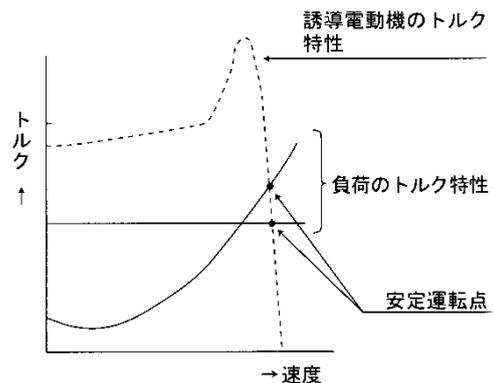


図 3.1-25 誘導電動機及び負荷の速度—トルク特性

### 第3章 機器の選定

(コ) 電動機の始動頻度

(サ) 設置場所：屋外、屋内、水中（水中ポンプの場合）：電動機の形式

(シ) 設置環境：

- 全天候形（屋外設置）
- 湿度の高い所や水滴をかぶるおそれのある場所
- 騒音を避けたい場所
- 周囲温度、標高

(ス) その他：

- 回転方向
- 端子方向
- 可逆運転の有無（ゲート他荷役機は有）
- 付属品
- 予備品

(セ) 特性：速度制御を行う場合 —— 制御回転数範囲

(c) 誘導電動機の選定

(b)の様な要求諸元を満足する誘導電動機の選定について以下に述べるが、機械設備からの要求諸元によって電動機の選定が一義的に決まるものは省略する。

① 種類と構造の選定

表 3.1-15 にかご形／巻線形誘導電動機の特徴をまとめる。これを参考にかご形と巻線形の適用を決定する。

表 3.1-15 かご形／巻線形誘導電動機の特徴

（土地改良計画設計基準「ポンプ場」技術書 6.1.1.1 主ポンプ用電動機より引用）

	かご形誘導電動機		巻線形誘導電動機
	トッランナーモータ	標準型	
構造	簡単、堅牢である。		やや複雑である。
保守	故障少なく、簡単である。		スリップリング、ブラシがあり、やや複雑である。
始動電流	大 (600~900 [%])	大 (500~800 [%])	小 (100~150 [%])
始動トルク	70~150 [%]		100~150 [%]
始動方式	直入れ又は減電圧始動		二次抵抗始動 <sup>注)</sup>
回転速度制御方式	インバータ制御 (VVVF)		制御用抵抗器 <sup>注)</sup> 又は静止セルビウス
適用	① 構造簡単、保守簡単、安価などの点から小容量から大容量まで広く適用されている。 ② トッランナーモータは、JIS C4213 における、極数が 2P~6P、出力が 0.75kW~375kW の低圧電動機が対象となる。		① 始動電流を制限する必要がある場合。 ② 回転速度制御を制御用抵抗器又は静止セルビウスで行う場合。 ③ はずみ車効果 (GD <sup>2</sup> ) の大きい負荷、始動頻度が高くかご形では対応できない負荷の場合。

(注) 電動機の始動方式及び回転速度制御方式の抵抗器には金属抵抗器と液体抵抗器がある。回転速度制御方式の抵抗器は、無段階での制御が可能であることと発熱量を抑えきれることから、一般的には液体抵抗器が使用される。

② 設置場所、設置環境による誘導電動機の構造の選定

前述 3.1.1(2)を参照して電動機の保護方式と冷却方式を選定する。

ア 屋外設置の電動機

全天候形が要求されるが保守の容易な点から自力通流形が好ましく、

保護方式：屋外、全閉形、防まつ形（記号：I P 4 4）

冷却方式：外被表面冷却形（記号：I C 4）

が小中出力に多く用いられる。

また、中大出力（数百 kW 以上）では、

保護方式：屋外、保護形、防まつ形（記号：I P W 2 4）

冷却方式：自由通流形（記号：I C 0）

（注）：必要な場合管通流も可能

又は

保護方式：屋外、全閉形、防まつ形（記号：I P 4 4）

冷却方式：取付け熱交換器形（空冷）（記号：I C 6）

が用いられる。

なお、運転停止時の湿気による絶縁低下を防止するためスペースヒータを設けることが多い。

ただし、小容量の全閉形は除く。

イ 屋内設置の電動機

直接水滴がかからないとはいえ、何らかの原因による水滴の落下等の保護及び異物に対する保護を考慮するとともに保守の容易な点から自力通流形が好ましいので、

保護方式：保護形、防滴形（記号：I P 2 2）

冷却方式：自由通流形（記号：I C 0）

が出力の大小を問わず多く用いられる。

ただし、湿度の高い場所や水滴をかぶるおそれのある場所では前述の屋外仕様とする。

また、機械設備によっては設置が標準的に屋外、屋内両用に設計されている場合が多く、特に汎用小出力電動機は屋外全閉防まつ外被表面冷却形（記号：I P 4 4、I C 4）を用いるか、屋内設置がはっきりしている場合は、全閉防まつ外被表面冷却形（記号：I P 4 4、I C 4）を用いることが少なくない。

③ 軸方向

一般に横軸形の適用が多いが、ポンプ用ではポンプ形式により立軸形も多く用いられる。

この場合次の点に注意する必要がある。

ポンプの場合、スラスト荷重をポンプ側で支持するか、電動機側で支持するかを明確にする。近年それぞれ独自にスラスト軸受を持つケースも多いが、すべてのスラストを電動機側で支持する場合は下記を明確にする。

- ・常用スラスト荷重 [N] 上向、下向
- ・最大スラスト荷重 [N] 上向、下向

④ その他

低騒音対策のある場合は3.1.2(11)を参照。

(d) 電氣的要因による電動機の選定

① 定格電圧

2.4.1 電動機電圧の選定を参照して決定する。

② 絶縁階級

高圧は耐熱性にすぐれ、従来のB種より同一出力で寸法重量が小さく製作できるF種が標準化している。一方低圧はE、B、F種があり選定できるがF種の採用が多くなっている。

③ 始動法

3.1.3 で各種始動法を述べたが多く用いられている始動法を表3.1-16にまとめるとともにその適用の目安を示す。最終的にどの始動法にするかは負荷の必要トルク、速度特性、始動頻度、電源容量等総合的に検討し選定する必要がある。

表 3.1-16 誘導電動機の始動法適用の目安

電動機	始動法		適用の目安	備考
かご形	全電圧始動	直入始動	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低圧 200 (V) 級：11 (kW) 未満 400 (V) 級：22 (kW) 未満</li> <li>・高圧：適用しない</li> </ul>	小出力電動機を中心に広く用いられている。 (注1) 参照
	減電圧始動	人 — △始動	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低圧 200 (V) 級：45 (kW) 未満 400 (V) 級：75 (kW) 未満</li> <li>・高圧：適用しない</li> </ul>	始動中のトルクが1/3になるのでポンプの場合、バルブ全開始動時では負荷トルクと電動機トルクが非常に接近したりクロスして始動があやぶまれることがあるのでトルク — 速度カーブで良くチェックすること。 適用：ポンプ、流体機械 (注2) 参照
		リアクトル始動	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低圧 200 (V) 級：11 (kW) 以上 400 (V) 級：22 (kW) 以上</li> <li>・高圧：3kV/6kV級</li> </ul>	コンドルファより安価な利点により高圧で多く用いられる。 適用：ポンプ、流体機械
		コンドルファ始動	同上	始動電流を特に制限したい場合に用いる。 適用：ポンプ、流体機械
巻線形	二次抵抗始動		高圧、低圧	

(注1) 内線規程 3305 節-2 において、3.7 [kW] を超える電動機は始動装置を使用し、始動電流を抑制することと規定している。しかし、11 [kW] 未満の特殊かご形（このクラスは標準仕様で特殊かご形である）は直入始動を認めている。

ただし、十分始動条件を検討すれば 11 [kW] 以上でも直入始動が可能で 37 [kW] 以下でも可能である。

(注2) 同上規程の中で、ポンプ用電動機など自動運転を行う電動機に使用される電磁式スターデルタ始動装置は、一次側電磁開閉器付などとし、電動機使用停止中には電動機巻線に電圧を加えないような措置を講じるものとする。

(2) 誘導電動機の標準仕様

(a) かご形電動機

かご形電動機の標準仕様の例を下に示す。

表 3.1-17 かご形電動機標準仕様 (参考)

規格	JIS、JEC、JEM	回転子構造	かご形
保護方式 冷却方式	屋内 ・保護形、防滴形、自由通流形 (IP22、IC0) ・全閉形、防まつ形、外被表面冷却形 (IP44、IC4)		
	屋外 ・全閉形、防まつ形 (IP44、IC4) 外被表面冷却形 ・保護形、防まつ形、自由通流形 (IP24W、IC0) ・全閉形、防まつ形、(空冷) (IP44、IC6)		
定格出力	_____ [kW]		
回転数	_____ [min <sup>-1</sup> ]		
極数	_____ 極		
定格電圧、周波数	高圧 6000 [V] (50 [Hz]) 3000 [V] (50 [Hz]) 6600 [V] (60 [Hz]) 3300 [V] (60 [Hz])	低圧 200 [V] (50、60 [Hz]) 220 [V] (60 [Hz]) 400 [V] (50 [Hz]、60 [Hz]) 440 [V] (60 [Hz])	
絶縁階級	F 種	E 種以上 (E、B、F 種)	
周囲温度、標高	-20 [°C] ~ 40 [°C]、1000m 以下		
時間定格	連 続		
始動電流	500~900 [%]		
始動トルク	70~100 [%] (ゲート用: 200 [%] 以上 300 [%] 以下)		
最大トルク	160 [%] 以上 (ゲート用: 200 [%] 以上 300 [%] 以下)		
始動頻度	冷時 2 回、熱時 1 回		
始動方式	全電圧、人-△、リアクトル、コンドルファ		
軸方向	横軸、立軸 (スラスト荷重、常用 _____ [N] $\frac{\uparrow}{\downarrow}$ 向、最大 _____ [N] $\frac{\uparrow}{\downarrow}$ 向)		
軸受	ころがり軸受 (グリース潤滑) を標準とする。 ただし、スラスト軸受はすべり軸受 (油潤滑) となることがある。		
回転方向	連結から見て反時計		
端子箱位置	上部または連結反対から見て右側		
端子箱 引込口方向	端子箱上部: 軸方向または左右方向 ただし通風をさまたげないこと 端子箱側面: 軸方向または上下方向		
騒音指定	_____ [dB(A)] (無負荷時)		
オプション	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軸受ダイヤル温度計</li> <li>・ベース</li> <li>・スペースヒータ</li> <li>・巻線、軸受用測温抵抗体</li> <li>・基礎ボルト</li> <li>・ソールプレート、ジャッキボルト、ノックボルト</li> </ul>		

(注) 1 立軸の場合のスラストは原則として負荷側で受ける。

(注) 2 保護方式、冷却方式の記号表現については 3.1.1 を参照。

(注) 3 ゲート用電動機は鋼構造計画設計技術指針(水門扉編)に準拠すること。

### 第3章 機器の選定

#### (b) 巻線形電動機

巻線形電動機の標準仕様の例を示す。

表 3.1-18 巻線形電動機標準仕様（参考）

規格	J I S、J E C、J E M	回転子構造	巻線形
保護方式 冷却方式	屋内	<ul style="list-style-type: none"> <li>・保護形、防滴形、自由通流形（I P 2 2、I C 0）</li> <li>・全閉形、防まつ形、外被表面冷却形（I P 4 4、I C 4）</li> </ul>	
	屋外	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全閉形、防まつ形、外被表面冷却形（I P 4 4、I C 4）</li> <li>・保護形、防まつ形、自由通流形（I P 2 4 W、I C 0）</li> <li>・全閉形、防まつ形、取付け熱交換器形（空冷）（I P 4 4、I C 6）</li> </ul>	
定格出力	_____ [kW]		
回転数	_____ [min <sup>-1</sup> ]		
極数	_____ 極		
定格電圧、周波数	高圧 6000 [V] (50 [Hz]) 3000 [V] (50 [Hz]) 6600 [V] (60 [Hz]) 3300 [V] (60 [Hz])	低圧 200 [V] (50、60 [Hz]) 220 [V] (60 [Hz]) 400 [V] (50、60 [Hz]) 440 [V] (60 [Hz])	
絶縁階級	F 種	E 種以上（E、B、F 種）	
周囲温度、標高	-20 [°C] ~40 [°C]、1000m以下		
時間定格	連続		
始動トルク	100 [%]		
最大トルク	160 [%] 以上		
軸方向	横軸、立軸（スラスト荷重、常用_____ [N] 上 向、最大_____ [N] 上 向） 下 下		
軸受	ころがり軸受（グリース潤滑）を標準とする。 ただし、スラスト軸受はすべり軸受（油潤滑）となることがある。		
回転方向	連結から見て反時計		
端子箱位置	上部又は連結反対から見て右側		
端子箱 引込口方向	端子箱上部：軸方向又は左右方向 ただし通風を妨げないこと 端子箱側面：軸方向又は上下方向		
ブラシ引上及び 二次短絡装置	電動操作ブラシ引上及び二次短絡装置付（なお、速度制御する場合はブラシ引揚なしの場合が一般的。）		
騒音指定	_____ [db] (A)（無負荷時）		
オプション	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軸受ダイヤル温度計</li> <li>・巻線、軸受用側温抵抗体</li> <li>・ベース</li> <li>・基礎ボルト</li> <li>・スペースヒータ</li> <li>・ソールプレート、ジャッキボルト、ノックボルト</li> </ul>		

(注) 1 立軸の場合のスラストは原則として負荷側で受ける。

(注) 2 始動用抵抗器及び制御器等の始動装置又は速度制御用抵抗器は別途必要になる。

(3) トップランナーモータ採用に関する留意点

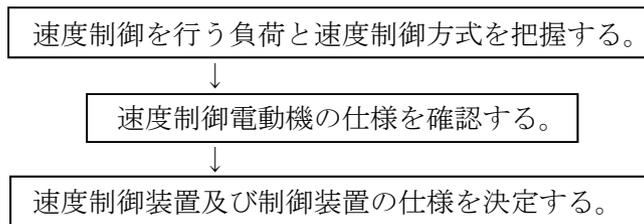
既設のモータからトップランナーモータに交換する場合は、始動電流、寸法や重量等が変わる場合があるため留意する必要がある。(6.3.3 保全実施計画検討の手順と留意点 表 6.3-1を参照)

3.1.6 速度制御方式の選定要領

(1) 速度制御方式の選定要領

選定に当たっては、負荷の特性、速度制御装置の特性、保守性、経済性、信頼性等の見地から総合的に検討し決定する。

以下に選定フローを示し、選定要領を説明する。



① 速度制御を行う負荷と速度制御方式の把握

速度制御はポンプの流量、圧力、水位制御等に多く用いられるがその目的を明確にし、運転制御方式を明らかにする。運転制御方式は、一般に台数制御と回転数制御の組合せで行う場合が多い。全体として台数制御をかけ各台数間の細かな流量調整を速度制御ポンプが分担する。

また、万一制御装置がダウンした場合でも固定速で運転する必要があるか確認する。

更に全体ポンプ台数、予備機台数、速度制御すべきポンプ台数(速度制御運転するポンプは個別運転か又は複数台のポンプを一括して回転数をそろえるのか)を明確にする。(セルビウスの計画では特に重要。)

② 速度制御電動機の仕様

台数、出力、極数、電圧、回転数、周波数、速度制御範囲等を明確にする。その他前述の電動機の選定 3.1.5 項で述べた事項にしたがってチェックする。

③ 速度制御装置及び制御装置の仕様

一般的にポンプの場合は、その特長から次の仕様となる。

(ア) 逆転又は回生制動は不必要である。

(イ) 速度制御範囲は 50~100 [%] 以内が多い。

(ウ) 制御の精度・応答性は各種産業ラインプロセスに比較すれば、それ程高度なものは要求されない。

(エ) 運転効率が良いこと。

(オ) 設置環境は良いかチェックする、即ち腐食ガス粉塵はないかなど確認する。

④ 速度制御方式（回転数制御）の選定

速度制御方式は、表 3.1-14 各種速度制御方式を参照し選定するが、ポンプ特性、初期投資、ランニングコスト等総合的判断の下に行う必要がある。図 3.1-26 に一般的な選定フローを以下に示す。

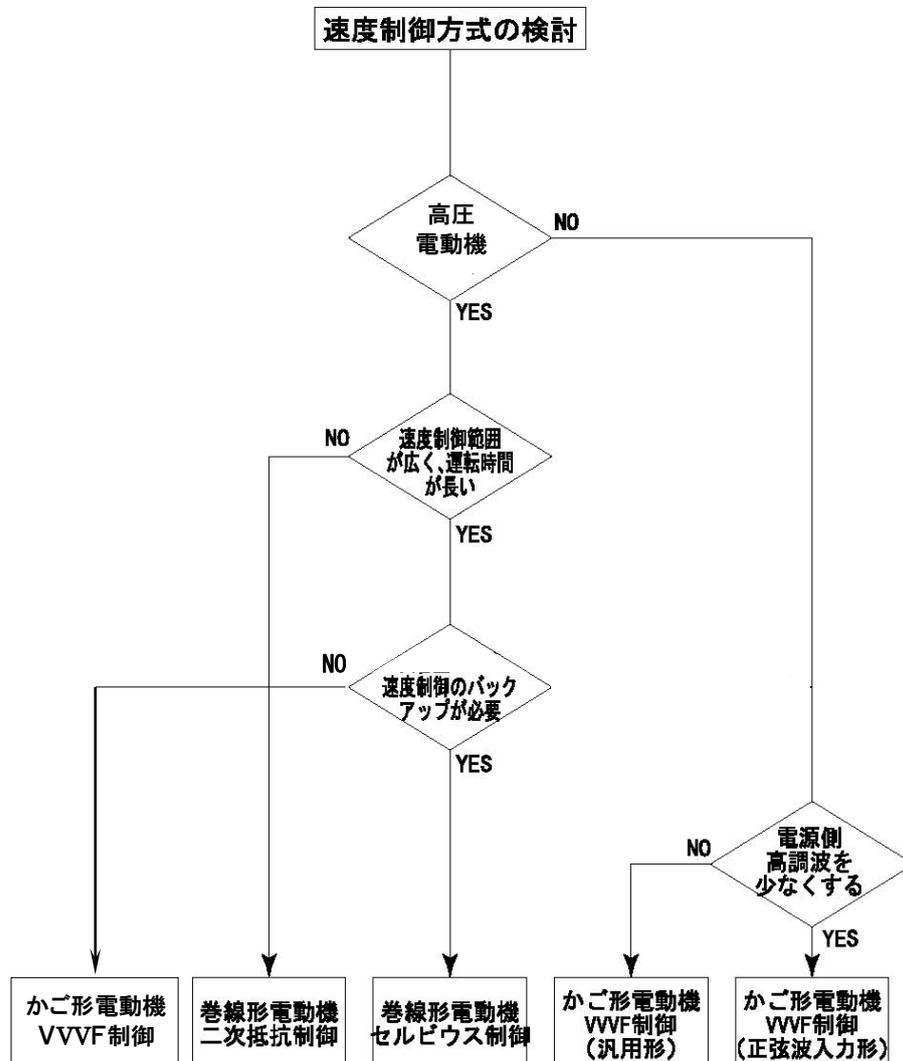


図 3.1-26 速度制御方式選定フロー

- (注) 1. 電動機の電圧種別は、2.4.1 電動機電圧の選定、2.4.2 配電電圧と配電方式を考慮して選定のこととする。  
2. 速度制御のバックアップは、二次抵抗（液体抵抗器等）制御で行うこととする。

⑤ 速度制御装置適用時の注意点

VVVF、セルビウス等を適用する場合は速度制御装置即ち整流変換装置の整流器のスイッチング特性に起因して電圧、電流に歪を生じる。基本波（50/60〔Hz〕正弦波）以外の高次の電流、いわゆる高調波電流が流れる。このため実際の施工に当たっては適用される電動機の熱的耐量及び振動騒音及び速度制御装置外への高調波電流の影響等について検討を要する。

(2) 速度制御装置の標準仕様

トランジスタインバータの標準仕様の例を表 3.1-19 に、装置外観を図 3.1-27 に示す。

表 3.1-19 トランジスタインバータの標準仕様（参考）

最大適用電動機 kW	200V 級	0.4～90〔kW〕（4P 電動機換算）				
	400V 級	0.4～500〔kW〕（同上）				
交流入力(電源)	電圧 周波数	三相 3線式	200～240〔V〕 50〔Hz〕／60〔Hz〕			
			380～500〔V〕 50〔Hz〕／60〔Hz〕			
	許容変動範囲	電圧	±10〔%〕	周波数	±5〔%〕	
交流出力	電圧	三相 3線式	200～240〔V〕			
			380～500〔V〕			
	周波数	0.2～590〔Hz〕 ※制御方式による				
	制御方式	等価正弦波 PWM 制御				
設定入力		<ul style="list-style-type: none"> <li>・DC0～10〔V〕</li> <li>・DC4～20〔mA〕</li> </ul>				
制御範囲	1:10(初期値) ※制御方式により 1:1500 まで可					
制御精度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アナログ入力 最大出力周波数 ±0.2〔%〕以内 (25〔℃〕±10〔℃〕)</li> <li>・デジタル入力 設定周波数 0.01〔%〕以内</li> </ul>					
始動トルク	50〔%〕(初期値) ※制御方式及び定格により 250% まで可					
一般仕様	周囲温度	-10～+50〔℃〕				
	相対湿度	90〔%〕以下(結露のないこと)				
	設置	屋内(腐食性ガス、引火性ガス、オイルミスト、塵埃のないこと)				
	標高	2500〔m〕以下 ※1000m を超える標高に設置する場合、500m 毎に 3% の定格電流低減が必要				



図 3.1-27 インバータ装置の外観例

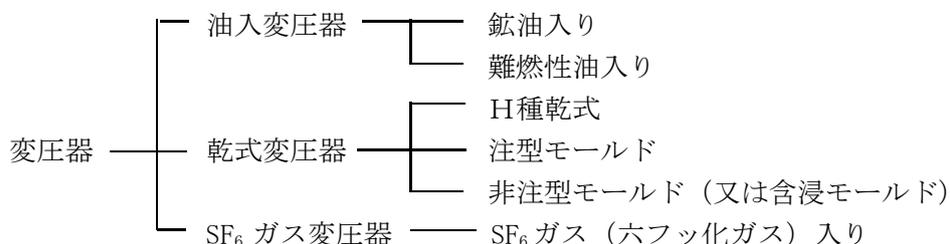
## 3.2 変圧器

### 3.2.1 変圧器の種類と構造

#### (1) 種類と構造

変圧器を大別すると次のように分類できる。

SF<sub>6</sub>ガス変圧器は、絶縁と冷却媒体として不活性、不燃性、毒性のないSF<sub>6</sub>ガスを用いる変圧器であり、特別高圧用に多く用いられているがここでは詳述しないものとする。



また、地球温暖化防止の一環として、エネルギーの使用の合理化に関する法律の一部を改正する法律 (2005年8月) (以下「改正省エネ法」という。) が施行され、その中で特に民生部門や運輸部門のエネルギー消費の増加を抑えるため、エネルギーを多く使用する機器毎に省エネルギー性能の向上を促すための目標基準 (以下「トップランナー基準」という。) が設けられ、対象18品目の一つである変圧器 (一部の油入、モールド変圧器) においても、損失を低減した高効率変圧器の採用が義務付けられている。

トップランナー基準に基づき油入変圧器は2006年4月から、モールド変圧器は2007年4月から高効率変圧器の採用が義務づけられている。また、2014年4月からは「トップランナー変圧器の第2次判断基準」が施行され、この基準に適合した変圧器の採用が義務づけられている。高効率変圧器の仕様、規格及び特性については本項のほか第7章7.4項を参考とする。

#### (2) 油入変圧器

巻線の絶縁と巻線、鉄心から発生する熱を外被、冷却器に伝える媒体として鉍油やシリコン油を用いる変圧器である。鉍油は絶縁性、冷却性に優れていることから現在最も広く使用されている。また、信頼性の向上、各種保護方式、予防保全の発達で事故は極めて少ない。しかし、鉍油は万一の火災の危険があるのが最大の欠点である。

油入 (鉍油) 変圧器の外観の例を図3.2-1、その構造の例を図3.2-2に示す。



図3.2-1 油入 (鉍油) 変圧器の外観例

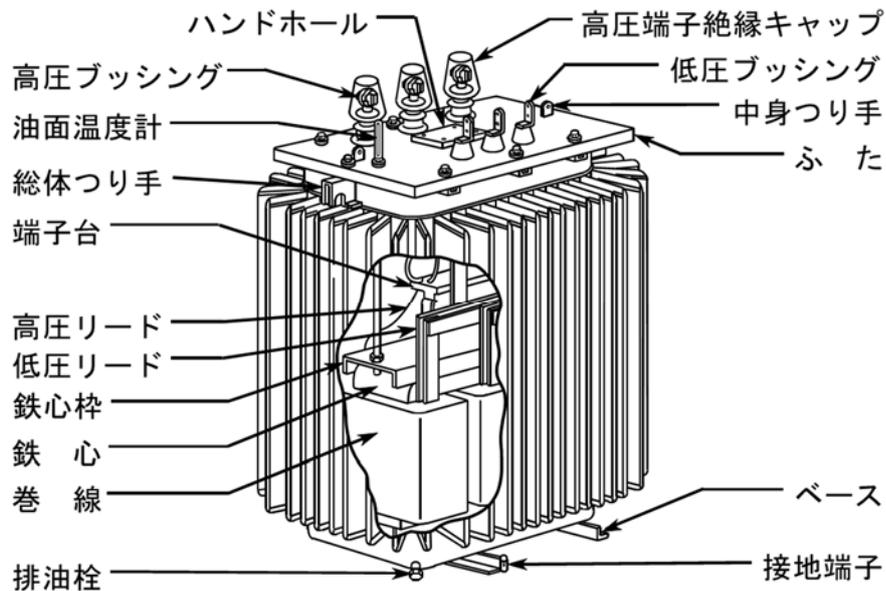


図 3.2-2 油入（鉱油）変圧器の構造例

### (3) 乾式変圧器

第2次世界大戦後、防災に対する要求の高まり、絶縁材料の発達とともにまず欧米において、H種乾式変圧器が開発された。わが国でも1953年頃から製作が始まりビル等に採用されはじめ現在までに33 [kV]、10 [MVA] 級まで多数の実績を重ねてきた。

しかし、1970年代に入ると、巻線を樹脂でモールドしたモールド変圧器がヨーロッパで開発・製作され、わが国でもその技術を導入し1975年以降急速に成長したため、H種乾式変圧器の採用は減少した。

#### (a) H種絶縁乾式変圧器

絶縁物として以前はマイカ・アスベスト類が使用されていたが、加工時の環境への影響等からほとんど使用されなくなり電氣的・機械的、熱的特性に優れたH種用絶縁材料が多数開発され、それらの中から耐熱性及びワニスとの適応性を考慮し、電線用にはポリイミド線やノーメックスが、また絶縁物構造材としてはアラミド系が多く用いられた。

#### (b) モールド変圧器

##### ① 構造

その優れた難燃性からH種乾式変圧器が長年使用されてきたが、耐湿性及び耐塵埃性に不十分な点があり、例えば休止後直ちに入電する場合に予熱清掃が必要であった。

このため、より耐湿性・耐汚塵性を向上することが必要となり、その解決法として優れた樹脂類の開発と相まって樹脂によって巻線をモールドしたものが使用されるようになってきた。

この樹脂の条件としては絶縁性能・耐熱性能に優れ難燃性、自己消火性であることが要求される。これらの条件を満たすものとして、エポキシ、ポリエステル及びポリイミド系等が使用されている。また、更に機械的強度を高めるために、これらと添加物を調合しているものもある。

モールド変圧器の製作方法は大きくわけて、巻線をモールドする際に、金型を使用する方式(注型モールド)と、金型を使用しない方式(非注型モールド)の2方式がある。注型モールドは、絶縁電線巻線として巻きあらかじめ準備された金型内に入れて真空に引いた状態でその隙間に樹脂を充填し硬化させた後、金型をとり除く方式である。

一方非注型モールドは、高強度のガラス繊維材料等を巻線の内外周に巻いた後、樹脂を真空含浸させ加熱硬化させる方法と、前もってガラス繊維に半硬化樹脂を含浸させたものを巻線に巻いた後加熱硬化させる方法とがある。

注型モールドは金型によって成型されるので表面がなめらかであるが、金型によって寸法・形状が決まってくるので、仕様・特性面での多様なニーズに対応するには不経済となることがある。特に%インピーダンス電圧の指定、負荷パターンによる高効率運転を行うための鉄損・銅損の比を選定する場合等には金型を使用しない方式の方が有利となる場合がある。

図 3.2-3、図 3.2-4 にモールド変圧器の外観例を示す。



図 3.2-3 注型モールド変圧器の外観例

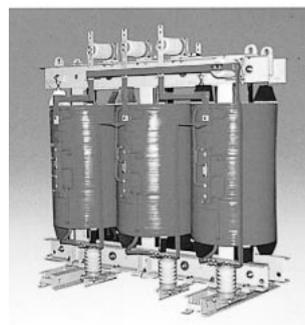


図 3.2-4 非注型モールド変圧器の外観例

### 第3章 機器の選定

#### ② 特 徴

##### (ア) 長 所

- ・災害に対する安全性が高い。  
自己消火性の樹脂によりモールド化され不（難）燃性の絶縁材料を使用している  
ので防災性が高い。
- ・耐汚塵性・耐湿性に優れている。  
巻線の表面は耐湿性の高い樹脂によりモールド化され直接外気に触れないため、  
耐湿性に優れ、塵埃の付着が少ない。
- ・保守点検が容易である。  
耐湿性・耐汚塵性に優れているため、長時間休止後でも簡単な点検のみで運転再  
開が可能である。
- ・堅ろうである。  
巻線全体が樹脂でモールドされているため、機械的強度が大きい。

##### (イ) 短 所

- ・箱体又は盤内収納しなければ屋外使用ができない。
- ・油入変圧器に比べ騒音がやや高い。

ここに各種変圧器の比較表を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 各種変圧器の比較

項 目	油入変圧器	ガス絶縁変圧器	モールド変圧器
1) 耐熱クラス	A	H以下、一般にはFを適用	H以下、一般にはB、F及びH
2) 冷却方法	自冷又は強制冷却		
3) 絶縁強度		油入変圧器と同一強度	鉱油入変圧器より低い 6.6kV 以下変圧器では油入と同一
4) 耐湿・耐塵性	◎	◎	○
5) 燃焼性	油：引火点約 135℃ 着火すると、外部炎を遮断しても燃焼継続する。	ガス：不燃	モールド樹脂：難燃 着火しても表面のみ燃焼、外部炎を遮断すると自己消炎する。
6) 防災性	保護装置が適正に装備されていれば、発火の可能性は極めて低い。	不燃、非爆発性ガスを密封した構造となっており発火しない。	難燃材料で構成されており、発火しない。
7) 更新推奨時期	<ul style="list-style-type: none"> <li>・20年</li> <li>・JEMA からの『汎用高圧機器の更新推奨時期に関する調査報告書』による。</li> </ul>		
8) 運用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・耐環境性が高く、屋内外いずれにも適用できる</li> <li>・単独据付、キュービクル収納又は直結ができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・単独据付、キュービクル収納又は直結ができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一般屋内用</li> <li>キュービクル収納に適している。</li> </ul>
9) 製作限界		基本的に油入変圧器と同一と考えられているが、高電圧大容量に適用する場合は開発要素が高い。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電圧 33kV 以下</li> <li>・容量 10MVA 程度以下（現状）</li> </ul>

3.2.2 変圧器の分類

(1) 相数による分類

- a. 単相変圧器
- b. 三相変圧器

(2) 巻線の数による分類

- a. 単巻変圧器
- b. 二巻線変圧器
- c. 三巻線変圧器

(注) 二巻線が一般に多い。

(3) 冷却媒体による分類

変圧器の損失（巻線の抵抗損、鉄心に発生する鉄損等）は、ほとんど熱となり放熱する必要がある。この放熱の媒体によって次のように大別できる。

変圧器方式		冷却媒体
油入変圧器		鉱油
		難燃油（シリコン油）
乾式変圧器	注型式モールド	空気
	非注型式（又は含浸）モールド	

旧来はこれらの変圧器の内、安価で取扱いが簡単な油入（鉱油）変圧器が最も多く用いられてきた。しかし、近年は変圧器を盤内に収納するケースが増えてきたこと、保守がほとんど不要で、防災性の高い乾式変圧器の採用が多くなっている。

(4) 冷却方式による分類

変圧器は、巻線及び鉄心を直接冷却する媒体並びに、それらを更に冷却する周囲の冷却媒体（空気又は水）の種類と循環方式によって分類される。

冷却方式を記号で表示する場合には、冷却媒体の種類及び循環方式を、表 3.2-2 に示した順序に記号を配列する。同一変圧器で二つ以上の冷却方式を併用する場合は、それぞれの冷却方式の記号を並べて表示する。表 3.2-3 に冷却方式の記号の例を示す。

表 3.2-2 冷却方式の表示文字の配列順序と記号

文字順序	説明	記号	冷却媒体の種類もしくは循環方式
第一文字	巻線および鉄心を直接冷却する媒体の種類	O	鉱油または燃焼点が300℃以下の合成液体
		K	燃焼点が300℃を超える絶縁液体
		L	燃焼点が測定できない絶縁液体
		A	空気
		G	ガス（例えば、六ふっ化硫黄 S F <sub>6</sub> ）
第二文字	巻線を直接冷却する媒体の循環方式	N	冷却器、巻線内ともに自然循環する。
		F	冷却器内は強制循環するが巻線内には強制循環しない。
		D	冷却器、巻線内ともに強制循環する。
第三文字	周囲の冷却媒体の種類	A	空気
		W	水
第四文字	周囲の冷却媒体の循環方式	N	自然対流
		F	強制循環（冷却扇、プロア、ポンプ）

備考 タンクのない乾式変圧器の場合は第一および第二文字だけで表示する。

表 3.2-3 冷却方式表示記号の例

記号	冷却方式
O N A N	油入自冷式
O F A N	送油自冷式
O D A N	導油自冷式
O F A F	送油風冷式
O D A F	導油風冷式
O N W F	油入水冷式
O F W F	送油水冷式
G N A N	ガス入自冷式
G D A F	導ガス風冷式
A N	乾式自冷式
A F	乾式風冷式
A N A N	乾式閉鎖自冷式
A N A F	乾式閉鎖風冷式
A N A N / O N A F	油入自冷式 / 油入風冷式

冷却方式で多く採用される方式は次のとおりである。

① 油入自冷式（ONAN）

変圧器で最も普通に用いられる冷却方式で、ケース内の鉄心及び巻線を油中に浸してケースの外側を空気により自然冷却する方式で、ケースの外側は冷却面積を増すために波形にしたり、冷却フィンを設けるか冷却パイプを付けたりするのが一般的である。

② 乾式自冷式（AN）

乾式変圧器に適用され油を用いず、鉄心及び巻線を単に空気により冷却する方式である。この方式では冷却効果が低下するため耐熱性の良い絶縁物を使用したH種、F種及びB種絶縁が多く使用される。また、A種絶縁の乾式変圧器もあるが一般に小容量のものに使用されることが多い。

③ 乾式風冷式（AF）

乾式自冷式変圧器に対して別に設けられた送風機で強制冷却を行う方式で、大容量のものや特殊用途のものに使用される。

④ 油入風冷式（ONAF）

油入自冷式変圧器の放熱器にファンを取付けて強制冷却を行う方式である。

農業農村整備事業で用いられる受変電設備には次の変圧器が多く採用されている。

- ・ 単独屋内／屋外設置用、油入変圧器→ONAN（油入自冷）
- ・ 盤内収納屋内／屋外用、モールド変圧器→AN（乾式自冷）

(5) 設置場所による分類

- a. 屋内屋外単独設置：単独設置の場合、ケーブルダクトやバスダクトを用いて配電盤と接続するケースが多い。
- b. 盤内収納設置（屋内又は屋外設置）

（注）1：変圧器を盤内に収納することにより次のメリットがある。

- ・ 安全性、信頼性が高くなる。
  - ① 充電部の閉鎖と万一の盤内事故による外部への危険性の低減と事故拡大の防止。
  - ② 変圧器の対環境保全、外部からの損傷を防止するとともに小動物侵入による事故防止。
- ・ 保守性が良くなる ————— 塵埃等の付着が少なく変圧器の点検が容易にできる。

(注) 2 : 一般に 1000 [kVA] 程度までの変圧器を収納するケースが多く、その概略寸法は以下のとおりである。なお詳細は 3.3.4 配電盤の構成と選定を参照。

変圧器容量 [kVA]	盤寸法 [mm] W(幅) × D(奥行) × H(高)	変圧器の収納方向
500	1000 × 2000 × (2300 + α)	縦方向
1000	1400 × 2000 × (2300 + α)	縦方向

換気ファン付の場合は + α : (400 程度)

(6) 油入変圧器の油劣化防止方式による分類

絶縁油は外気に直接接触すると吸湿及び酸化等により劣化するので、各種の防止方式(図 3.2-5 参照)がある。500 [kVA] 以下は一般に呼吸口のみで対策し、油劣化の対策はとられていない。

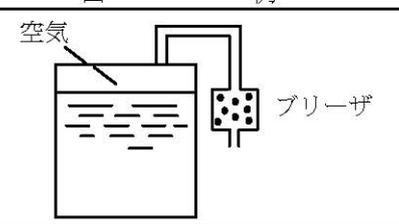
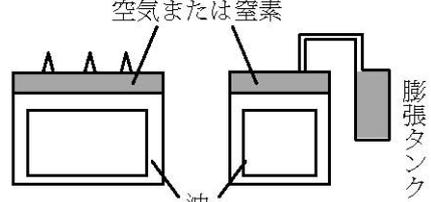
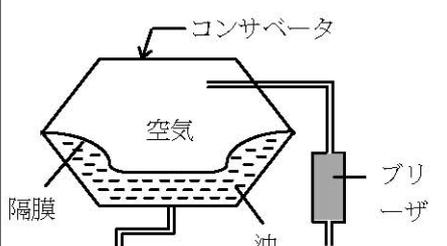
油劣化防止方式	図 例	備 考
ブリーザ式		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 500 [kVA] を超えるものから 1000 [kVA] 以下に適用する。</li> <li>・ 活性アルミナを設け、油劣化防止を行う場合もある。</li> </ul>
空気・窒素・密閉式 (コンサベータなし)		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変圧器内に空気又は窒素を封じ込め外気から遮へいする構造で一般に多く用いられる方式である。</li> <li>・ 1000~2000 [kVA] に適用</li> <li>・ 主として特高用として採用される。</li> </ul>
隔膜式		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンサベータ内に隔膜を設け変圧器内の油が外気と接触するのを防止する。又隔膜は油の膨張で上下するのでブリーザを通して呼吸させる。</li> <li>・ 5000~10,000 [kVA] に適用</li> <li>・ 主として特高用として採用される。</li> </ul>

図 3.2-5 変圧器の油劣化防止方式

3.2.3 変圧器の定格と特性

変圧器は、JEC-2200-(2017)、JIS、JEM に詳細規定されており、7.4 項に JIS に規定されている変圧器の特性を記載する。以下に JEC-2200 に規定されている標準的仕様を示す。

(1) 標準容量

単相及び三相変圧器の標準容量を表 3.2-4 (JEC-2200 推奨) に示す。

なお、トッランナー基準 (油入: JISC4304、モールド: JISC4306) に基づき、単相 10~500kVA (油入、モールド) 及び三相 20~2000kVA (油入、モールド) においては、高効率変圧器の採用が義務付けられている。

表 3.2-4 単相、三相変圧器の標準容量

(a) 単相変圧器の標準容量 [kVA]

	1.5	15	150	1 500	15 000
	2	20	200	2 000	20 000
	3	30	300	3 000	30 000
	5	50	500	5 000	50 000
	7.5	75	750	7 500	
1	10	100	1000	10 000	

(b) 三相変圧器の標準容量 [kVA]

	15	150	1 500	15 000	150 000
	20	200	2 000	20 000	200 000
					250 000
	30	300	3 000	30 000	300 000
			4 500	45 000	400 000
5	50	500		50 000	450 000
			6 000	60 000	
7.5	75	750	7 500		
10	100	1000	10 000	100 000	

(注) 本指針は、高圧受変電設備のため、上表の容量は、2000kVA 以下に適用する。

(2) 標準定格電圧及び標準タップ電圧

JEC-2200 の抜粋を表 3.2-5 に示す。農業農村整備事業用で一般に用いられるのは分類 C 及び D に属する。詳細は表 3.2-14~表 3.2-15 変圧器の標準仕様を参照。

タップ電圧の前の記号 F、R 及び無記号は次のとおりである。

F : 全容量タップ電圧

R : 定格容量タップ電圧

無記号 : 低減容量タップ電圧 (容量を定格電圧とタップ電圧の比に低減して使用する。)

表 3.2-5 標準定格電圧と標準タップ電圧

分類 <sup>(1)</sup>	一次電圧 [%] <sup>(2)</sup>	二次電圧 [%] <sup>(2)</sup>
A	注(3)参照	F115/R110/F105 または、 F110/R105/F100 <sup>(4)</sup>
B	F115/R110/F105 (F115) <sup>(5)</sup> /F110/R105/F100 または、 (F110) <sup>(5)</sup> /F105/R100/F95	R110 または、 R105 <sup>(4)</sup>
C	(F115) <sup>(5)</sup> /F110/R105/F100 または、 (F110) <sup>(5)</sup> /F105/R100/F95	R115 または、 R110 <sup>(4)</sup>
D	F112.5/R110/F107.5/F105/102.5 または、 R110/F105/100	注(6)参照

- 注 (1) 変圧器の分類は参考表2による。  
 (2) 本表の電圧値は、公称回路電圧を1.1で除した値に対する百分率で表してある。  
 (3) 分類Aの変圧器の定格一次電圧は、電圧変動率を考慮して、発電機端子電圧より0～5%低い値を選定する。  
 (4) 負荷端までの送電距離の短い場合に適用する。  
 (5) かつこ内のタップ電圧は、一次回路電圧が77kV以下の場合に適用する。  
 (6) 分類Dの変圧器の定格二次電圧は、105Vおよび210Vとする。

参考表2 変圧器の分類

略号	分類
A	発電機電圧から高圧または特別高圧に昇圧する変圧器
B	特別高圧から他の特別高圧に昇圧する変圧器
C	特別高圧または高圧から高圧に降圧する変圧器
D	高圧から低圧に降圧する変圧器

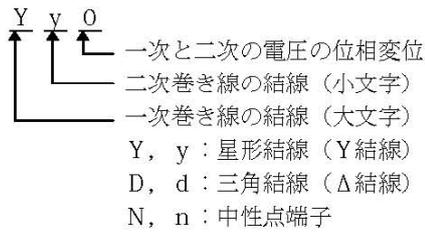
(3) 標準結線

(a) 一般に多く用いる三相、単相変圧器の結線を図 3.2-6 に示す。

① 三相変圧器の結線

ベクトル図		接続記号 (注1)	結線図
一次	二次		
		Yy0	
		Yd1	
		Dd0	
		Dyn11	

注1) 記号の説明



位相変位：一次巻き線の電圧ベクトルを時計の分針と見なし、二次巻き線のベクトルを時計と見なしたとき、分針が0の位置のとき時計の示す時数で表す。

② 単相変圧器の結線

回路方式	結線図	
1φ3W専用	(a)	(b)
1φ2W	(a)	(b)

③ スコット変圧器の結線

回路方式	1φ2Wまたは1φ3W	
接続図	一次	
	二次	

図 3.2-6 変圧器の標準結線

(b) 結線の適用

- ① Y-Δ Δ結線は第3高調波励磁電流を循環する利点がありYを高圧1次側、又は Δ低圧2次側とする受変電用変圧器に多く用いられる。また、Δを高圧 Δ-Y 1次側、Yを低圧2次側とし、低圧側を400〔V〕級配電とする場合に用いる。これは低圧側を中性点接地し利用できるからである。
- ② Δ-Δ 単相変圧器3台を用いてこの結線にする場合1台を将来設置することとして、当初はV結線で運転したり、1台故障時V結線で応急運転が可能である。しかし、三相変圧器の信頼性が高いこと、設置スペースが少くないこと、単相3台より安価等の理由からV結線はあまり利用されなくなってきた。
 

Δ-Δは両方共第3高調波励磁電流を循環することから正弦波電圧を誘起する反面、中性点をとれない欠点はある。しかし、高圧は非接地系であることから中大容量の配電用、受変電用に用いる。また、6〔kV〕／3〔kV〕級変圧器として良く用いる。
- ③ Y-Y 中性点を接地できる1次、2次の位相が同じであるが、第3調波電流の循環ができないので電圧がひずみ、通信線に障害を発生する。したがって、小容量変圧器への適用が多く見られる。
- ④ スコット 3相から照明負荷等の単相負荷を多くとると3相側が不平衡電圧となり、3相負荷や予備発電機に悪影響を与える場合がある。したがって、特にまとまって単相負荷をとる必要のある場合は3相側を平衡にする機能のあるスコット変圧器を用いると便利である。ただし、スコット変圧器を採用する場合は単相回路を等容量2系統に分割する必要がある ((3)(a)③ スコット変圧器結線を参照)。

一般的に使用する変圧器の結線をまとめると表3.2-6になる。

表 3.2-6 一般的な変圧器の結線

一次電圧	二次電圧	結線	備考
6.6〔kV〕	210〔V〕	Y-Y	50〔kVA〕以下に適用
		Y-Δ	50〔kVA〕超過に適用
6.6〔kV〕	440(420)〔V〕	Δ-Y	

なお、結線の適用例については表3.2-14、表3.2-15 変圧器の標準仕様参照。

(4) 短絡インピーダンス

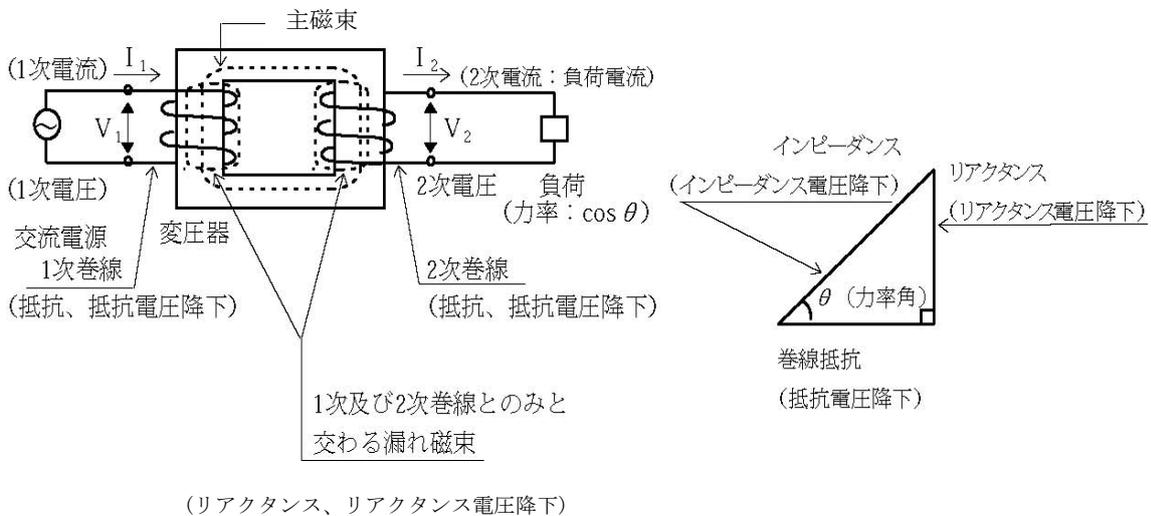
(a) 変圧器の短絡インピーダンスと電圧変動率

① 変圧器の電圧降下

変圧器の2次巻線において負荷を接続すると2次巻線の端子電圧が無負荷時より若干降下する。その理由は次のとおりである。

変圧器の1次及び2次巻線には巻線抵抗が有り、負荷電流の有効分に比例する抵抗電圧降下を発生する。一方、1次及び2次巻線には各々の巻線とのみ交わる漏れ磁束によって生ずる漏れリアクタンス（交流回路特有の一種の抵抗と考えることができ以下単にリアクタンスという。）が有り、負荷電流の有効分に比例するリアクタンス電圧降下を発生する。これら2つの電圧降下の合成の電圧降下、即ちインピーダンス電圧降下を発生するからである（図 3.2-7 参照）。このインピーダンス電圧降下とその巻線の定格電圧に対する百分率を短絡インピーダンスといい、次式で表される。

$$\text{短絡インピーダンス (\%Z)} = \frac{\text{インピーダンス電圧降下 [V]}}{\text{定格電圧 [kV]} \times 10}$$



(a) 変圧器の巻線抵抗、リアクタンスとその電圧降下 (b) 変圧器のインピーダンスとインピーダンス電圧降下

図 3.2-7 変圧器の電圧降下

変圧器の短絡インピーダンスは変圧器の容量を基準に表している。

短絡電流の計算を行う際、すべての短絡インピーダンス電圧を基準容量に換算後計算を行う必要がある。基準容量へ換算するには次の式を用いる。一般に基準容量は10 [MVA] 又は、1,000 [kVA] とすることが多い。

$$\text{短絡インピーダンス(基準容量)} = \frac{\text{kVA (基準容量)}}{\text{kVA (変圧器容量)}} \times \text{短絡インピーダンス(変圧器容量)}$$

また、インピーダンスがオーム [ $\Omega$ ] 値で表されている場合の短絡インピーダンスへの変換は次式による。

$$\text{短絡インピーダンス} = \frac{\text{インピーダンス } [\Omega] \times \text{kVA(基準容量)}}{\text{定格電圧 (kV)}^2 \times 1,000}$$

短絡インピーダンスは単に%インピーダンスと表現する場合もある。

② 電圧変動率  $\varepsilon$  [%]

変圧器の電圧変動率は指定された電流（通常定格電流）と力率（ $\cos \theta$ ）及び定格周波数の負荷を2次巻線に加えその端子電圧を2次定格電圧とする。その時の1次巻線端子電圧をそのまま変えずに、2次巻線の負荷を無負荷とした時の2次巻線の電圧の変動（電圧上昇分）の2次定格電圧に対する百分率で表される。

ここで変圧器の百分率抵抗降下を  $q_r$  [%]、百分率リアクタンス降下を  $q_x$  [%] とすると電圧変動率  $\varepsilon$  は次式で表される。

$$\varepsilon = (q_r \cos \theta + q_x \sin \theta) + \frac{(q_x \cos \theta - q_r \sin \theta)^2}{200} \quad [\%]$$

特に、力率（ $\cos \theta$ ） = 1 の場合の電圧変動率  $\varepsilon_1 = q_r + q_x^2 / 200$  [%] となる。（この  $\varepsilon_1$  については変圧器の特性等とともに JIS で規定されている範囲のものは 7.4 項参照）

また、上式の第3項を省略し、次の実用式で表わされる。

$$\varepsilon = q_r \cos \theta + q_x \sin \theta$$

なお、短絡インピーダンスはその変圧器固有の値で銘板に記載され、次のような意味を持っている。

- ・ 負荷を接続した時に負荷電流と負荷の力率（ $\cos \theta$ ）によって決まる電圧変動率を生じる。
- ・ 負荷側で万一短絡を生ずると大きな短絡電流が流れる。その短絡電流の大きさを抑えるのが変圧器のインピーダンスでこの点からは短絡インピーダンスは大きい方が有利となる。
- ・ 同一容量の複数台の変圧器の並列運転を行う場合、等しい短絡インピーダンスを持つことが条件となる。

また、変圧器の励磁突入電流により配電系統の電圧から 10% を超えて低下させるおそれがある場合は、励磁突入電流の抑制対策を講じること。

（注 1）変圧器の励磁突入電流の大きさは、変圧器の鉄心特性、遮断機の突入位相、配電線のインピーダンス等に依存するため、対策について電気事業者と協議を行うこと。

（注 2）変圧器の励磁突入電流の抑制対策には変圧器一次側への限流抵抗（又は限流リアクトル）の設置、変圧器の分散設置による順次投入、磁束密度を低減した変圧器の採用がある。

（上記は「高圧受電設備規程 JEAC8011-2014 1150-8 変圧器」による）

(b) 標準短絡インピーダンス

変圧器の短絡インピーダンスは、変圧器に負荷を接続した時の2次側の電圧降下を少なくするためには、小さい値が好ましいが、反面、2次側で短絡事故を発生した場合の遮断容量を小さくする面では大きい値を持つ方が好ましいという2つの相反する要求がある。

製造者により、インピーダンスが異なることから、各製造者に確認した数値を用いて、経済設計等を検討する。

設計段階で短絡インピーダンスが不明の場合は表 3.2-7 を使用する。

表 3.2-7 設計時に用いる変圧器の短絡インピーダンス

(a)二次電圧が高圧の場合

公称一次電圧 [kV]	インピーダンス [%]	公称一次電圧 [kV]	インピーダンス [%]
77	7.5	22	5.0
66	7.5	11	4.5
33	5.5	6.6	3

(b)二次電圧が低圧の場合

種別	公称電圧 [kV]		インピーダンス [%]					
	一次	二次	25~100 [kVA]	300~750 [kVA]	1,000 [kVA]	1,500 [kVA]	2,000 [kVA]	2,500 [kVA]
油入	0.4	0.1 0.2	2.0~3.0	—	—	—	—	—
乾式	0.4	0.1 0.2	3.5~4.5	—	—	—	—	—
油入 乾式	3.3 6.6	0.4	4.5	5.5	7.5	—	—	—
油入 乾式	22 33	0.4	—	5.5	7.5	7.5	7.5	8.5

〔注〕 電気学会 工場配電より

6.6kV/0.2kV の場合のインピーダンスは、6.6kV/0.4kV を参考値とする。

(5) 変圧器の絶縁強度

変圧器は、送配電線から受電するため、雷サージ（衝撃電圧又はインパルス電圧）等にさらされる機会が多く、ある程度までの雷サージ等が変圧器に侵入しても十分これに耐えるように設計する。雷インパルス耐電圧試験に耐える設計とした変圧器の試験電圧値を表 3.2-8 に示す。一般に 6 [kV] 高压油入変圧器及びモールド変圧器の雷インパルス試験電圧値は 60 [kV] を用いる場合が多い。

表 3.2-8 雷インパルス耐電圧試験に耐える設計の変圧器巻線路端子の試験電圧値

公称電圧 [kV]	試験電圧値 [kV]			備考  (旧 JEC による表現) (絶縁強度)
	雷インパルス耐電圧試験		短時間交流 耐電圧試験 (実効値)	
	全波	裁断波		
3.3	30	—	10	3B
	45	50	16	3A
6.6	45	—	16	6B
	60	65	22	6A

(6) 絶縁の耐熱クラスと許容最高温度

変圧器は構成する絶縁材料の耐熱特性によって、A種、E種、B種、F種、H種、200、220 及び 250 に分類される。

変圧器の各種絶縁材料は、表 3.2-9 に示す各耐熱クラス毎の許容最高温度を長時間持続して超えてはならない。また、連続負荷の油入変圧器の温度上昇限度を表 3.2-10 に、連続負荷のガス入変圧器及び乾式変圧器の温度上昇限度を表 3.2.11 に示す。

表 3.2-9 各耐熱クラスの許容最高温度（JEC-2200（2017））

耐熱クラス	許容最高温度 [°C]
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
200	200
220	220
500	250

表 3.2-10 連続負荷の油入変圧器の温度上昇限度 (JEC-2200 (2017))

変 圧 器 の 部 分		温度測定方法	温度上昇限度 <sup>(1)</sup> [K]
巻線	油自然循環の場合 (ON, OF)	抵抗法	55
	油強制循環の場合 (OD)	抵抗法	60
油	本体タンク内の油が直接外気と接触する場合	温度計法 <sup>(2)</sup>	50
	本体タンク内の油が直接外気と接触しない場合 <sup>(3)</sup>	温度計法 <sup>(4)</sup>	55
鉄心その他の金属部分の絶縁物に近接した表面		温度計法 <sup>(5)</sup>	近接絶縁物を損傷しない温度

注 (1) 使用状態や適用絶縁材料を踏まえて、温度上昇限度を、以下の値に指定してもよい。

巻線の温度上昇限度 (ON, OF) : 65K, (OD) : 70K, 油の温度上昇限度 60K

- (2) 油表面近くで温度を測定する。
- (3) 開放形コンサバータ付の場合を含む。
- (4) 本体タンク内の頂部近くで温度を測定する。
- (5) タンク内の金属部分の温度は特に測定しなくてよい。

表 3.2-11 連続負荷のガス入変圧器および乾式変圧器の温度上昇限度 (JEC-2200 (1995))

変圧器の部分	温度測定方法	耐熱クラス	温度上昇限度 (K)
巻線	抵抗法	A	55
		E	70
		B	75
		F	95
		H	120
鉄心表面	温度計法		近接絶縁物を損傷しない温度

備考 1. H を超える耐熱クラスの場合の温度上昇限度は、注文者と製造者の協議により定める。

2. ガス温度上昇については特に規定しない。

### (7) 変圧器の特性

現在 JIS で規定している変圧器の特性は 7.4 項を参照。

### (8) その他 (混触防止板 (非標準))

電気設備の技術基準の解釈第 24 条において、高圧又は特別高圧から低圧に降圧する変圧器の二次側一線又は中性点が接地できない場合混触防止板を設けることが義務付けられている。高圧と低圧巻線間は十分絶縁を施してあるが万一絶縁破壊を起こすと、低圧巻線に、高圧の異常電圧がかかり危険である。この為、高低圧巻線間の絶縁物の間に導体 (一般に銅板) を巻きこれを接地することにより、低圧に異常高圧がかかることを防ぐが、この目的で使用する導体を混触防止板と言う。一般に速度制御装置用の変圧器はこれを付属する場合が多い。

### (9) 変圧器の騒音

#### (a) 騒音発生原因

変圧器は運転すると低周波のブーンと言う音を発生する。これは鉄心が磁界の大小に従って、伸び縮みするいわゆる磁歪現象を発生するため、主として鉄心の継ぎ目で起こる。

この騒音は、特に住宅地域で問題になるので施設の境界線で騒音防止法や各都道府県で制限値が設けられ規制されている。(各都道府県で多少異なるが、住居地域で昼間 50~55 [dB(A)]、朝夕 45~50 [dB(A)]、夜間 40~45 [dB(A)] 程度である。)

(b) 変圧器の騒音測定と距離減衰

変圧器本体の騒音は騒音計（JIS C 1509(2017)）で変圧器の騒音レベル測定方法（JEC2200(2017)）に定める方法で計測する。

騒音は発生源からの距離で減衰する。この様子を図 3.2-8 に示す。

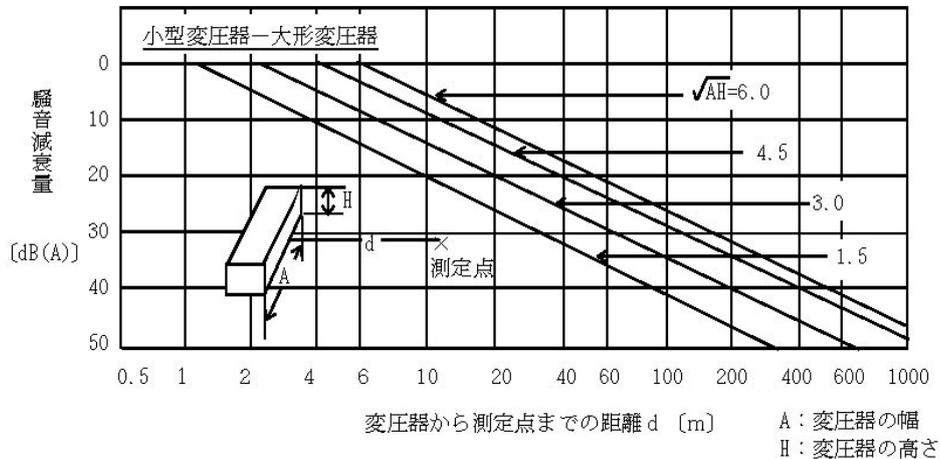


図 3.2-8 変圧器騒音の距離による減衰

(c) 騒音対策

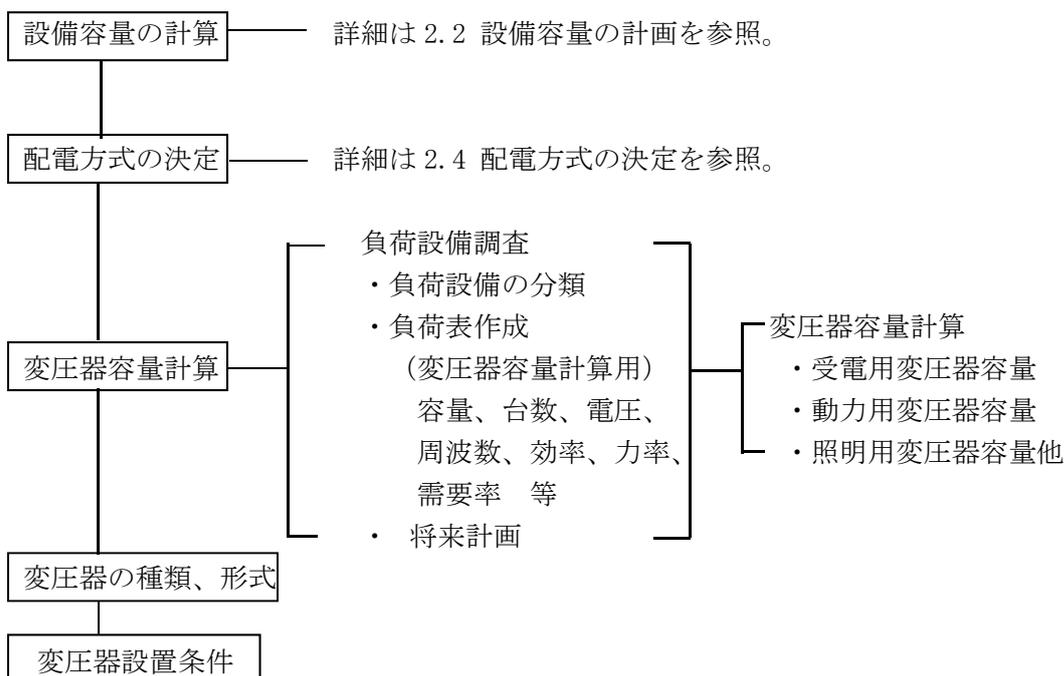
距離減衰で規定値を満足すれば問題ないが、もし満足しない場合は発生源側の対策を要する。その主なものは下記のとおりである。

- ① 磁束密度を低く設計する。
- ② 磁歪の少ない鉄心を使用する。
- ③ 中身の防振支持（防振ゴム）
- ④ タンクの補強

軽減すべき騒音値が 5～10 [dB] の場合は①、③、④等が経済的である。いずれにしても、特殊設計となるので、事前調査し、低騒音対策が必要かどうか明確にする必要がある。

### 3.2.4 変圧器の選定要領

変圧器の選定に当たっては以下の手順で行う。



以下に設備容量の計画、配電方式の決定に基づき、変圧器容量計算、変圧器の種類、形式の選定及び変圧器設置条件について述べる。

#### (1) 負荷設備調査

変圧器選定に当たっては、負荷の種類、運転台数、特性及び将来増設計画等の負荷設備調査が必要である。これらの負荷設備は関連する機械設備、建屋付帯設備計画により決定される。

##### (a) 負荷設備の分類

- ・ 動力負荷……………主機（ポンプ、ゲート等）、補機（予備発電機用補機を含む）、除塵機及び処理装置、直流電源装置、無停電電源装置等
- ・ 照明設備……………白熱灯、蛍光灯、水銀灯
- ・ 空調設備……………ユニットクーラー等
- ・ その他クレーン、換気装置、通信設備等

##### (b) 負荷表の作成

- ① 表 3.2-12 に示す負荷表を作成する。この段階では設備の要求から最適の電動機出力、定格電圧、周波数、極数等の大要が決まっているものとする。
- ② 負荷表は、変圧器単位に作成する。なお、変圧器区分は 2.4 配電方式の決定の項を参照。

受電用変圧器：6 [kV] / 3 [kV] 級変圧器又は動力用変圧器を併用する場合もある。

動力用変圧器：6 [kV] 又は 3.3 [kV] / 400 [V] 又は 200 [V] 級

照明用変圧器：6 [kV] 又は 3.3 [kV] / 200-100 [V] 又は 400 [V] / 200-100 [V] 級

(注) 1 照明変圧器を動力変圧器の下に接続する場合は、動力変圧器に照明負荷を加算しなければならない。標準の単相変圧器の場合は、照明負荷容量の $\sqrt{3}$ を加算し、スコット変圧器の場合は照明負荷容量をそのまま加算する。

### 第3章 機器の選定

③ 負荷表には、設備台数及びその内数である予備台数を記入し、予備機及び同時に運転しない負荷は除外し、実働容量とする。

④ 負荷の効率( $\eta$ )、力率(pf)は次による。

低圧電動機効率：JIS C 4210(参考資料表 7.5-1)

JIS C 4212(参考資料表 7.5-2)

同上 力率：コンデンサ付 0.9 コンデンサ無 JIS C 4210

高圧電動機効率：6kV 3.1 項の図 3.1-9

3kV JEM 1381(参考資料表 7.5-3)

メーカーがわかっている場合はそのメーカーの資料

力率：コンデンサを含む力率とする。

照明負荷効率：0.8

力率：0.833

} (電気供給約款高効率形蛍光灯)

ただし、照明負荷が [kVA] で表示されている場合は、その値を  $P_s$  として記入する。

⑤ 電動機の始動電流

負荷表において、始動電流欄は電動機始動時の変圧器2次電圧降下を許容値以内に抑える変圧器容量の算出に利用する。したがって、変圧器にかかる最大電動機の始動電流のみを記入する。

電動機の始動電流  $I_s$  は次による。

低圧電動機、6kV 電動機の場合は④で求めた特性により定格電流を算出し、次の計算による。

かご形  $I_s = \text{定格電流} \times (500 \sim 900\%)$

標準として

低圧電動機 714 [%]

高圧電動機 555 [%]

巻線形  $I_s = \text{定格電流} \times (100 \sim 150\%)$

計画段階としては 150%とする。

3kV 高圧電動機の始動電流は参考資料表 7.5-3 JEM1381(1993)による。

メーカーがわかっている場合はメーカーの資料

⑥ 需要率は総負荷設備容量に対する運転時最大需要電力の割合をいう。

$$\text{需要率} = \frac{\text{最大需要電力 [kW]}}{\text{総負荷設備容量 [kW]}} \times 100$$

最大需要電力とは下図のような需要家の日負荷曲線においてもっとも多く電力を使う値を最大需要電力という。つまり、電動機等はそれぞれの定格容量目いっぱいを使うことはほとんどないし、時間的に連続運転するもの、間欠運転するもの等さまざまである。また、全部の負荷が同一時間に集中してかかるわけではない。したがって、変圧器容量はこの最大需要電力を満足するように決める。その容量は負荷の算術和で求めた総負荷設備容量より小さい値となる。全体の需要率を規定することは難しいので、本指針では、各負荷毎に運転状況に基づく集計用の需要率を次のように定める。

連続運転：0.9(主ポンプ、冷却水ポンプ等)

間欠運転：0.5(吐出弁、所内排水ポンプ、ゲート等)

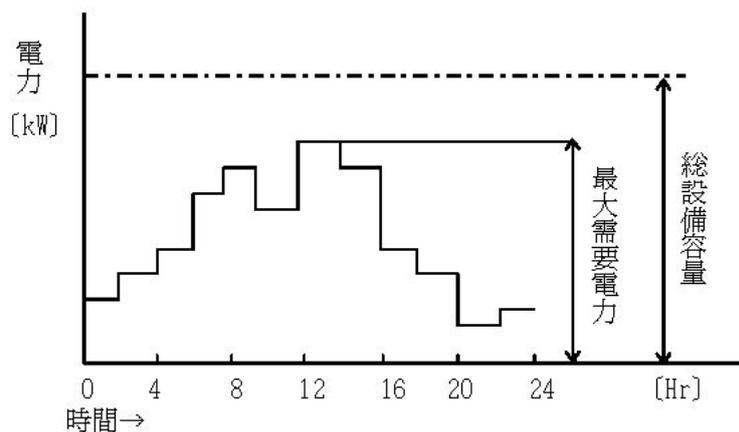


図 3.2-9 最大需要電力

表 3.2-12 負荷表

NO.	負荷名称	単機容量 P [kW]	電位 [V]	設備 台数	予備 台数	効率 $\eta$	力率 pf	始動電流 $I_s$ [A]	実働容量 $P_o$ [kW]	入力 $P_{in}$ [kW]	入力 $P_q$ [kvar]	入力 $P_s$ [kVA]	需要率 $\beta$	$P_{in} \times \beta$ [kW]	$P_q \times \beta$ [kvar]	$P_s \times \beta$ [kVA]	備考
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	

注) 「予備台数」は「設置台数」の内数を示す。

- 計算方法
- $P_o = P \times (\text{設置台数} - \text{予備台数})$  [kW]
  - $P_{in} = P_o / \eta$  [kW]
  - $P_q = P_s \times \sqrt{1 - (p f)^2}$  [kvar]
  - $P_s = P_{in} / p f$  [kVA]

(c) 将来計画

将来の増設、改造計画などを予想し、必要な場合は余裕を見込んでおく必要がある。負荷の増加のたびに変圧器を追加設置することはバンク数が増えるだけでなく付属の開閉装置、保護装置が複雑となり、運転、管理、保守の簡易化が図られないうえに、設置場所に余裕がない場合には、電源を分割配置せざるをえないことになる。したがって、増設時期の想定を誤らないよう関係方面とよく打合わせておくことが大切である。

特に将来増設する負荷が解っている場合は、負荷表に組込んで計画する。

(2) 変圧器の容量計算

変圧器容量計算には計算法1、計算法2がある。

計算法1の結果は全体負荷の定常時必要な変圧器容量であり、設備負荷の中で最大のかご形電動機の始動時容量が小さく、変圧器2次側の電圧を大きく降下させる心配のない場合に適用する。

もし、その始動容量が大きく、変圧器2次電圧降下が懸念される場合は、計算法2により2次電圧降下を考慮して変圧器容量を算出する。

すなわち、定常時必要な容量と変圧器にベース負荷がかかっている状態で、その最大のかご形電動機を始動しても、変圧器2次母線における電圧降下が10%以内に抑える変圧器容量の両方を算出し、大きい容量をもとに最終的に変圧器容量を決定する。

以下これらの計算法の具体的適用について述べる。

(a) 計算法1の適用

- ① 負荷が明らかに小容量電動機群（補機電動機等）他の場合。
- ② 主機用電動機等が巻線形で、その他小容量電動機群（補機電動機等）の場合。

（注）この方法を適用する概略の目安として、負荷表の中の最大かご形電動機容量  $P_{OM}$  [kW] がこの計算法1で算出した変圧器容量計算値  $T$  [kVA] として、下式を満足する場合とする。

$$P_{OM} \text{ [kW]} \times K < \frac{T \text{ [kVA]}}{5}$$

ただし、 $K$  = 減電圧始動係数（直入れ = 1.0、その他減電圧始動係数は3.1項電動機、表3.1-11電源側始動電流参照）

$$\text{もし、} P_{OM} \text{ [kW]} \times K \geq \frac{T \text{ [kVA]}}{5} \text{ の場合は計算法2で計算する。}$$

(b) 計算法2の適用

- ① 負荷表の主機用電動機等がかご形で、表中の最大のかご形電動機の始動容量が大きく、変圧器2次側の電圧降下が大きくなることが懸念される場合。〔計算法1（注）の概略目安として計算法2で計算を要する場合等〕

### 第3章 機器の選定

② 計算法1で計算し、標準容量をわずかに超え、1ランク上の標準容量となるような場合、計算法2で再チェックする。

#### (c) 計算法1

計算法1で求める変圧器容量 $P_{T1}$  [kVA] は次式で求まる。

$$P_{T1} = \Sigma (P_s \times \beta) \times \alpha \quad [\text{kVA}]$$

$P_s$ : 入力容量 [kVA]

$$P_s = \frac{P_0}{\eta} \times \frac{1}{\text{Pf}} \quad [\text{kVA}]$$

$P_0$ : 実働負荷定格出力 [kW]

$\eta$ : 同上負荷効率 …

- ・ 低圧電動機 参考資料 7.5 項の表 7.5-1, 2 参照
- ・ 6 [kV] 高圧電動機 3.1 項の図 3.1-9 参照
- ・ 3 [kV] 高圧電動機 JEM 1381 参考資料表 7.5-3 参照
- ・ 電動機のメーカーがわかっている場合はそのメーカーの資料
- ・ 照明: 0.8

$\text{Pf}$ : 同上力率 ………

- ・ 低圧電動機にコンデンサを設けた場合は 0.9
- ・ 低圧電動機にコンデンサを設けない場合は参考資料 7.5 項表 7.5-1 参照
- ・ 高圧電動機は進相コンデンサを含めた値とし計算結果による
- ・ 照明: 0.833

$\beta$ : 同上需要率 ……………

電動機	連続運転負荷=0.9
	間欠運転負荷=0.5
照明・その他	運転状況で 0.9
	(想定した値)

$\alpha$ : 余裕率 …………… 1.1

上記計算結果から変圧器容量の選定に当たっては直近上位の標準容量とする。

#### (d) 計算法2

詳細に容量計算を行う計算手順を以下に示す。

##### ① 定常時に必要な容量

負荷表により入力( $P_{in} \times \beta$ ) [kW]、入力( $P_q \times \beta$ ) [kvar] の合計を求め、次式より定常時に必要な変圧器の容量 $P_{T2-1}$  [kVA] を算出する。

$$P_{T2-1} = \sqrt{\{\Sigma(P_{in} \times \beta)\}^2 + \{\Sigma(P_q \times \beta)\}^2} \times \text{余裕率 } \alpha \text{ [kVA]}$$

$$P_{in} : \text{有効分入力} \quad \frac{P_0}{\eta}$$

$$P_q : \text{無効分入力} \quad P_s \times \sqrt{1-(\text{Pf})^2}$$

$\alpha$  : 余裕率 1.1

② 電動機始動時に必要な容量

最大容量の電動機を最後に始動する時が最も重負荷となる。電動機の始動電流を  $I_s$  [A]、電圧を  $V$  [V]、始動力率を  $P_{fs}$  とすれば、始動時の合計容量は次のとおりとなる。

(ア) 基底負荷容量

基底負荷容量は各負荷の入力容量  $P_{in} \times \beta$  [kW]、入力容量  $P_q \times \beta$  [kvar] の合計から最大容量電動機の定常時における有効電力  $P_m$  [kW]、無効電力  $P_{qm}$  [kvar] を引いたものである。基底負荷の入力  $P_B$  [kW] 及び入力  $P_{qB}$  [kvar] は次式より求まる。

$$P_B = \Sigma(P_{in} \times \beta) - P_m \text{ [kW]}$$

$$P_{qB} = \Sigma(P_q \times \beta) - P_{qm} \text{ [kvar]}$$

(イ) 最大電動機始動容量

最大容量の電動機を始動したときの始動容量  $P_{sms}$  [kVA] は次式となる。

$$P = \sqrt{3} \times V \times I_s \times 10^{-3} \times K \text{ [kVA]}$$

ただし、 $K$  : 減電圧始動係数 (詳細 3.1 項電動機表 3.1-11 電源側始動電流参照)

電動機の始動電流 ( $I_s$ ) ……

- ・ 高圧電動機の場合は JEM 1381(1993)を参照
- ・ メーカーがわかっている場合はメーカーの資料
- ・ 計画段階等で不明の場合は下記で概略算出する。
  - かご形  $I_s = \text{定格電流} \times (500 \sim 900\%)$
  - 低圧電動機 714 %
  - 高圧電動機 555 %
  - 巻線形  $I_s = \text{定格電流} \times 150\%$

(ウ) 電動機始動時の始動容量  $P_{ms}$  [kW] は次式となる。

$$P_{ms} = \text{始動 kVA}(P_{sms}) \times \text{始動力率}(P_{fs}) \text{ [kW]}$$

ただし、始動力率 ( $P_{fs}$ ) ……かご形 : 0.4

        巻線形 : 0.9

(エ) 電動機始動時の始動容量  $P_{qms}$  [kvar] は次式となる。

### 第3章 機器の選定

$$P_{qms} = \text{始動 kVA}(P_{sms}) \times \sqrt{\{1 - (Pfs)^2\}} \text{ [kvar]}$$

よって始動時の合計容量 PS [kVA] は次式より算出される。

$$\begin{aligned} PS &= \sqrt{\{(kW)^2 + (kvar)^2\}} \times \text{余裕率 } \alpha \\ &= \sqrt{\{(P_B + P_{ms})^2 + (P_{qB} + P_{qms})^2\}} \times \alpha \text{ [kVA]} \end{aligned}$$

ただし、 $\alpha$  : 余裕率 1.1

電動機始動時の電圧降下をある値以内とするための変圧器容量 PT2-2 は概略下式より求められる。

始動時の合計容量

$$P_{T2-2} = \frac{\text{始動時の合計容量}}{\% \text{電圧降下}} \times \text{変圧器短絡インピーダンス [kVA]}$$

よって変圧器 2 次母線（電動機が接続されている直近の母線）における電圧降下を 10 [%] 以内に抑えるため % 電圧降下を 10 [%] として算出する。

- (注) 1 定常時必要な変圧器容量に比べ、電動機始動時必要変圧器容量が極端に大きい場合は電動機の始動方法、巻線形化等を含め再検討を要する。
- (注) 2 変圧器短絡インピーダンスは表 3.2-7 参照。

#### ③ 結 論

上記①、②のいずれか大きい容量で標準容量(表 3.2-4) によって変圧器容量を選定する。

3.2.5 変圧器の選定例

(1) 変圧器容量計算例

3.2.4(2)の計算方法に従って、図3.2-10の単線結線図に示すような用水ポンプ場の受電用変圧器、動力用変圧器、照明用変圧器容量を求めると次のようになる。

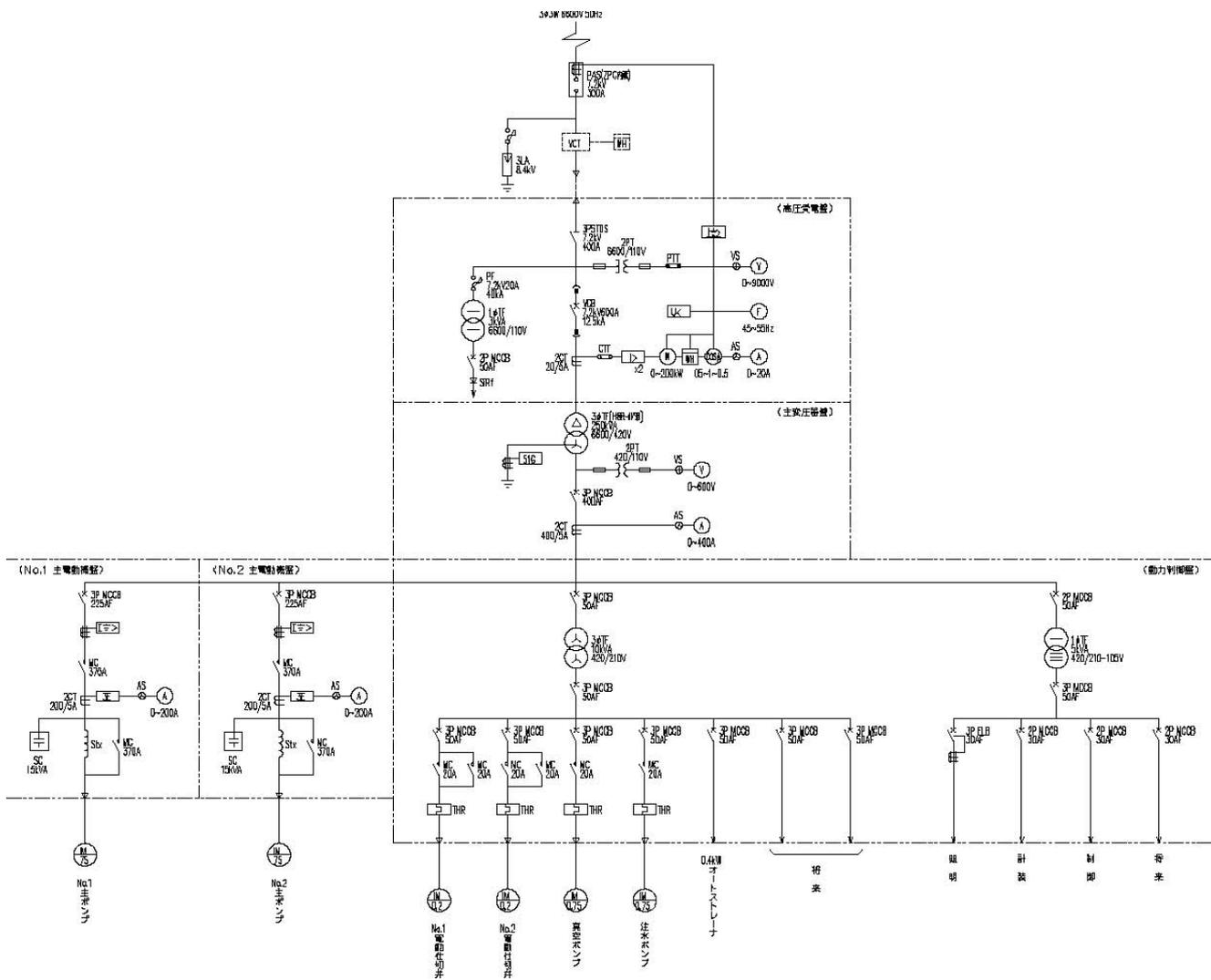


図 3.2-10 用水ポンプ場単線結線図例

### 第3章 機器の選定

#### (a) 負荷表の作成

用水ポンプ場の動力負荷、照明負荷、その他の負荷から、負荷表 表 3.2-13 を作成する。作成に当たっては次の事項を参考にする。

- ① 電動機の効率 ( $\eta$ )  
力率 (Pf)
  - ・ 低圧電動機 参考資料 7.5 項表 7.5-1, 2 参照
  - ・ 主ポンプの力率はコンデンサによる改善を考慮し 0.95 とした。
  - ・ メーカーがわかっている場合はそのメーカーの資料
  
- ② 電動機の始動電流 ( $I_s$ ) 及び始動力率 (Pfs)
  - ・ 高圧電動機参考資料 7.5 項表 7.5-3 参照
  - ・ メーカーがわかっている場合はメーカーの資料
  - ・ 計画段階等で不明の場合は下記で概略算出する。
    - かご形  $I_s = \text{定格電流} \times (500 \sim 800\%)$ 
      - 低圧電動機 714 [%]
      - 高圧電動機 555 [%]
    - 巻線形  $I_s = \text{定格電流} \times 150\%$
  - ・ 始動力率 Pfs
    - かご形 : 0.4
    - 巻線形 : 0.9
  
- ③ その他詳細は 3.2.4 項(1)負荷設備調査を参照。

#### (b) 受電用主変圧器

比較的大きな低圧かご形電動機があるので、計算法 2 で計算する。

##### ① 定常時に必要な容量

負荷表により入力 ( $P_{in} \times \beta$ ) [kW]、入力 ( $P_q \times \beta$ ) [kvar] の合計を求め、次式により入力  $P_{T2-1}$  [kVA] を算出する。

$$\begin{aligned} P_{T2-1} &= \sqrt{\{\Sigma(P_{in} \times \beta)\}^2 + \{\Sigma(P_q \times \beta)\}^2} \times \text{余裕率 } \alpha \\ &= \sqrt{(161.47)^2 + (58.53)^2} \times 1.1 \\ &= 188.9 \text{ [kVA]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ここで、} \Sigma(P_{in} \times \beta) & 161.47 \text{ [kVA]} \\ \Sigma(P_q \times \beta) & 58.53 \text{ [kVA]} \\ \text{余裕率 } \alpha &= 1.1 \end{aligned}$$

表3.2-13 負荷表

No	負荷名称	単機容量 P[kW]	電圧 [V]	設備 台数	予備 台数	効率 η	力率 pf	始動電 流 I <sub>s</sub> [A]	実働容 量 P <sub>o</sub> [kW]	入力 P <sub>in</sub> [kW]	入力 P <sub>o</sub> [kvar]	入力 P <sub>s</sub> [kVA]	需要率 β	P <sub>in</sub> ×β [kW]	P <sub>o</sub> ×β [kvar]	P <sub>s</sub> ×β [kVA]	備考	
1A	No.1主ポンプ	75	400	1		0.905	0.95 *		75.00	82.87	27.24	87.23	0.9	74.58	24.52	78.51	4極	
1B	No.2主ポンプ	75	400	1		0.905	0.95 *		75.00	82.87	27.24	87.23	0.9	74.58	24.52	78.51	4極	
	動力負荷小計													149.16	49.04	157.02		
	(動力変圧器)																	
1B	No.1電動仕切弁	0.2	200	1		0.545	0.65		0.20	0.37	0.43	0.57	0.5	0.19	0.22	0.29	JIS C 4210	
2B	No.2電動仕切弁	0.2	200	1		0.545	0.65		0.20	0.37	0.43	0.57	0.5	0.19	0.22	0.29	4極による	
3B	真空ポンプ	0.75	200	1		0.68	0.77		0.75	1.10	0.91	1.43	0.5	0.55	0.46	0.72		
4B	注水ポンプ	0.75	200	1		0.68	0.77		0.75	1.10	0.91	1.43	0.9	0.99	0.82	1.29		
5B	オートストレーナ	0.4	200	1		0.62	0.72		0.40	0.65	0.62	0.90	0.5	0.33	0.31	0.45		
6B	将来	1.5	200	2		0.755	0.75		3.00	3.97	3.50	5.29	0.9	3.57	3.15	4.76		
	動力小計															5.82	7.80	
	(照明変圧器)																	
1C	照明	2 [kVA]																
2C	計装	1 [kVA]																
3C	制御	1 [kVA]	5	1		1.00	0.833		7.21	7.21	4.79	8.66	0.9	6.49	4.31	7.79	1φ負荷は×√3	
4C	将来	1 [kVA]																
	合計															161.47	58.53	172.61

注) 「予備台数」は「設置台数」の内数を示す。

- 計算方法・ $P_o = P \times (\text{設備台数} - \text{予備台数})$  [kW]  
 ・ $P_{in} = P_o / \eta$  [kW]  
 ・ $P_q = P_s \times \sqrt{1 - (\text{pf})^2}$  [kvar]  
 ・ $P_s = P_{in} / \text{pf}$  [kVA]

② 電動機始動時に必要な容量

最大容量の電動機 (No 1B) 75 [kW] を最後に始動する時が最も重負荷となる。

電動機の始動電流を  $I_s$  [A]、電圧を  $V$  [V]、始動力率を  $Pf_s$  とすれば、始動時の合計容量は次のとおりとなる。

(イ) 基本負荷容量

基底負荷容量は各負荷の入力容量  $P_{in} \times \beta$  [kW]、入力容量  $P_q \times \beta$  [kvar] の合計から最大容量電動機の定常時における有効電力  $P_m$  [kW]、無効電力  $P_{qm}$  [kvar] を引いたものである。基底負荷の入力  $P_B$  [kW] 及び入力  $P_{qB}$  [kvar] は次式より求まる。

$$\begin{aligned} P_B &= \Sigma(P_{in} \times \beta) - P_m \\ &= 161.47 - 74.58 \\ &= 86.89 \text{ [kW]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{qB} &= \Sigma(P_q \times \beta) - P_{qm} \\ &= 58.53 - 24.52 \\ &= 34.01 \text{ [kvar]} \end{aligned}$$

ここで、 $P_m = 74.58$  [kW] ,  $P_{qm} = 24.52$  [kvar]

(ロ) 最大電動機始動容量

$$\begin{aligned} \text{始動 kVA} &= \sqrt{3} \times V \times I_s \times 10^{-3} \times K \\ &= \sqrt{3} \times 400 \times 899 \times 10^{-3} \times 0.65 \\ &= 404.8 \text{ [kVA]} \end{aligned}$$

ここで、 $K$  : 減電圧始動係数 リアクトル始動 = 0.65

$V$  : 電動機電圧 400 [V]

$I_s$  : 電動機の始動電流 (電動機定格電流の 714%)

$$\begin{aligned} I_s &= \frac{75 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.905 \times 0.95} \times \frac{714}{100} \\ &= 899 \text{ [A]} \end{aligned}$$

(ハ) 電動機始動時の始動容量  $P_{ms}$  [kW] は次式となる。

$$\begin{aligned} P_{ms} &= \text{始動 kVA}(P_{sms}) \times \text{始動力率}(Pf_s) \\ &= 404.8 \times 0.4 \text{ (かご形電動機の場合)} \\ &= 161.9 \text{ [kW]} \end{aligned}$$

### 第3章 機器の選定

(二) 電動機始動時の始動容量  $P_{qms}$  [kvar] は次式となる。

$$\begin{aligned} P_{qms} &= \text{始動 kVA}(P_{sms}) \times \sqrt{1 - (Pf_s)^2} \\ &= 404.8 \times 0.917 \\ &= 371.2 \quad [\text{kvar}] \end{aligned}$$

よって始動時の合計容量  $P_s$  [kVA] は次式より算出される。

$$\begin{aligned} PS &= \sqrt{(\text{kW})^2 + (\text{kvar})^2} \times \text{余裕率 } \alpha \\ &= \sqrt{(P_B + P_{ms})^2 + (P_{qB} + P_{qms})^2} \times \alpha \quad (\text{注}) \text{ 余裕率 } \alpha = 1.1 \\ &= \sqrt{(86.89 + 161.9)^2 + (34.01 + 371.2)^2} \times 1.1 \\ &= 523.0 \quad [\text{kVA}] \end{aligned}$$

電動機始動時の電圧降下をある値以内とするための変圧器容量は概略下式より求められる。

$$\text{変圧器容量} = \frac{\text{始動時の合計容量}}{\% \text{電圧降下}} \times \text{変圧器短絡インピーダンス [kVA]}$$

よって変圧器2次母線（電動機が接続されている直近の母線）における電圧降下を 10 [%] 以内に抑えるため%電圧降下を 10 [%] として算出する。

なお、変圧器%インピーダンスは 4 [%] とする。

$$\text{変圧器容量} = \frac{523.0}{10} \times 4 = 209.2 \quad [\text{kVA}]$$

#### ③ 結 論

上記①、②の大きい容量で標準変圧器容量(表 3.2-4)によって 300 [kVA] を選定する。

#### (c) 動力用変圧器

小容量の低圧電動機のみであり、計算法1で計算する。

$$\begin{aligned} \text{動力変圧器容量} &= \Sigma (P_s \times \beta) \times \alpha = 7.80 \times 1.1 \\ &= 8.58 \quad [\text{kVA}] \end{aligned}$$

以上により、10 [kVA] を選定する。

#### (d) 照明用変圧器

計算法1で計算し、以下のようになる。

$$\text{照明用単相3線式変圧器容量} = 5 \quad [\text{kVA}] \times 1.0 = 5.0 \quad [\text{kVA}]$$

以上により、5.0 [kVA] を選定する。

(注) この場合、負荷表の各負荷にすでに余裕をとっているため、 $\alpha = 1.0$  とした。

(e) 以上 b、c、d より、各変圧器容量を次のとおりとする。

- ① 受電用主変圧器：三相      300 [kVA]
- ② 動力用変圧器   ：三相      10 [kVA]
- ③ 照明用変圧器   ：単相3線    5 [kVA]

## (2) 変圧器の種類、形式の選定

3.2.1 項の変圧器の種類と構造及び 3.2.2 項の変圧器の分類で詳述したように変圧器の種類は各種あるが農業農村整備事業用で用いる変圧器は一般に次の2種類から選定する。

- ・油入変圧器……………
- ・屋内又は屋外の単独設置用。
- ・小～中容量を屋内又は屋外盤内に収納設置する。
- ・油の検査、交換等の保守を要する。
- ・乾式に比し安価。
- ・難燃が必要な地下設置等には難燃油にするか消火設備を設ける必要がある。

以上から難燃要求のない場合やスペースの余裕があり屋内又は屋外に単独設置可能な場合は、経済性から油入変圧器が有利である。

- ・乾式モールド変圧器 ……………
- ・すべて盤内収納で屋外盤又は屋内盤に収納設置。
- ・小形で油の検査、交換等の保守が不要。
- ・難燃性であり、防災性に優れる。
- ・油入変圧器よりやや高価。
- ・鉄心等が露出する構造である。また、油入変圧器に比べ、騒音がやや大きい。

以上から乾式モールド変圧器は防災性を要する所に最適であるだけでなく、小形で盤内収納できるので省スペース、油の検査、交換等のメンテナンスが不要などから油入変圧器より少し高価であるが多く採用されている。

## (3) 変圧器の結線の選定

3.2.3(3)で述べたように各種の結線方式があるが、結線の選定に当たって表 3.2-14 及び表 3.2-15 を参照。

### 3.2.6 変圧器の標準仕様

農業農村整備事業用に多く用いる油入（鉱油）及び乾式モールド変圧器の標準仕様の例を次に示す。

#### (1) 変圧器の設置条件その他

変圧器の設置条件は一般に下記のとおりである。

- ・屋内又は屋外(乾式モールド変圧器は屋内)
- ・周囲条件：最高 40℃以下  
屋内設置の場合は十分な換気に注意する。
- ・標 高：1000m以下
- ・雰 囲 気：塩害、有害な腐食ガスは特別仕様となるので注意する。
- ・標準付属品以外の条件：1次、2次のバスダクトフランジ。  
混触防止板。  
活性アルミナ。(油入変圧器のみ)  
ダイヤル温度計。(100kVA 以上)  
防振ゴム。  
基礎ボルト。  
耐塩ブッシング。(油入変圧器のみ)

(2) 油入（鉱油）変圧器の標準仕様

表 3.2-14 油入変圧器の標準仕様（参考）

規格	JEC-2200(2017)、JIS C 4304(2013)			定格	連続
外形	・屋外 ・屋内	油入自冷	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・吸収式</li> <li>・（空気）密封式</li> <li>・窒素、密封式</li> </ul>	耐熱クラス	A
相数	容量 (kVA)	周波数 (Hz)	1次電圧 (kV)	2次電圧 (V)	結線
単相	10,15,20,30,50	50	R6.6-F6.3-6.0	210-105	単相 3線
	75,100,150 200,300,500	又は 60	F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15 F3.375-R3.3-F3.225-F3.15-3.075		
三相	75,100,150 200,300,500	50 又は 60	F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15 F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15 F3.375-R3.3-F3.225-F3.15-3.075	210	△-△
	750,1000,1500		F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15 又は F3.375-R3.3-F3.225-F3.15-3.075		△-△ △-△
	75,100,150,200 300,500,750 1000,1500,2000	50 60	F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15		420 440
	10,15,20,30,50	50 60	R440-R420-F400 F460-R440-F420	210	△-△
	75,100,150,200	50 60	F440-R420-F400 F460-R440-F420		△-△
	300,500	50 60	F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15		3150 3300
三相 6kV/ 3kV級	750,1000 1500,2000	50 60		3150 3300	△-△
低圧 スコット	10,15,20,30,50	50/60	210（三相）	210-105 単相2回線	
	75,100,150,200	50又は60			
雷インパルス耐電圧試験電圧値			60kV（6kV級）、45kV（3kV級）		
交流耐電圧試験電圧値			22kV（6kV級）、16kV（3kV級）		
オプション	<ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 33%;">・混触防止版</li> <li style="width: 33%;">・ダイヤル温度計</li> <li style="width: 33%;">・防振ゴム</li> <li style="width: 33%;">・活性アルミナ</li> <li style="width: 33%;">・耐塩ブッシング</li> <li style="width: 33%;">・端子保護カバー</li> <li style="width: 33%;">・基礎ボルト</li> <li style="width: 33%;">・車輪</li> <li style="width: 33%;">・ダクトフランジ</li> </ul>				

〔トプランナー 油入変圧器 仕様（参考）〕

規格	JIS C 4304 (2013)				
相数	容量 [kVA]	周波数 [Hz]	1次電圧 [kV]	2次電圧 [kV]	結線
単相	10, 20, 30, 50	50	R6.6-F6.3-6.0	210-105	単相3線
	75, 100, 150, 200, 300, 500	又は 60	F6.75-R6.6-F6.45- F6.3-6.15		
三相	20, 30, 50	50 又は 60	R6.6-F6.3-6.0	210	人 - 人
					人 - △
	75, 100, 150, 200, 300, 500		F6.75-R6.6-F6.45- F6.3-6.15		人 - △
	750, 1000				人-△, △-△
	1500, 2000		△-△		
	20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000, 2000	50	F6.75-R6.6-F6.45- F6.3-6.15	420	△ - 人 (中性点端子付き)
		60		440	

(3) 乾式モールド変圧器の標準仕様

表 3.2-15 乾式モールド変圧器の標準仕様 (参考)

規格	JEC-2200(2017)、JIS C 4306(2013)			定格	連続	
形式	屋内 (注)	乾式モールド変圧器			耐熱クラス	B,F,H
相数	容量 (kVA)	周波数 (Hz)	1次電圧 (kV)	2次電圧 (V)	結線	
単相	10,15,20,30,50	50 又は 60	R6.6-F6.3-6.0 又は R3.3-F3.15-3.0	210-105	単相3線	
	75,100,150 200,300,500		F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15 F3.375-R3.3-F3.225-F3.15-3.075			
	10,20,30,50, 75,100	50 60	420 440	210-105		
三相	20,30,50	50 又は 60	R6.6-F6.3-6.0 又は R3.3-F3.15-3.0	210	人-人	
	75,100,150		F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15 又は F3.375-R3.3-F3.225-F3.15-3.075		人-△	
	20,30,50	50	R6.6-F6.3-6.0 又は	420(210)	人-人 又は △-人	
		60	R3.3-F3.15-3.0	440(220)		
	75,100,150 200,300,500	50	F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15	420(210)	△-人	
		60	又は F3.375-R3.3-F3.225-F3.15-3.075	440(220)		
750,1000,1500 2000	50	F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15	420(210)			
	60	又は F3.375-R3.3-F3.225-F3.15-3.075	440(220)			
10,15,20,30,50 75,100	50	F440-R420-F400	210-105	△-人 又は △-△		
	60	F460-R440-F420				
低圧 スコット	10,15,20,30,50 75,100	50 又は 60	210 (三相)	210-105 単相2回線	⊥ ⊥ ⊥	
雷インパルス耐電圧試験電圧値			60kV (6kV級)、45kV (3kV級)			
交流耐電圧試験電圧値			22kV (6kV級)、16kV (3kV級)			
オプション		<ul style="list-style-type: none"> <li>・混触防止版</li> <li>・基礎ボルト</li> <li>・ダイヤル温度計</li> <li>・車輪</li> <li>・防振ゴム</li> <li>・低圧端子向き 90℃変更</li> </ul>				

(注) 一般に盤内収納で使用する。また、屋外盤に収納して屋外で使用できる。

〔トップランナー 乾式モールド変圧器 仕様 (参考)〕

規格	JIS C 4306 (2013)				
相数	容量 [kVA]	周波数 [Hz]	1次電圧 [kV]	2次電圧 [kV]	結線
単相	10, 20, 30, 50	50	R6.6-F6.3-6.0	210-105	単相3線
	75, 100, 150, 200, 300, 500	又は 60	F6.75-R6.6-F6.45-F 6.3-6.15		
三相	20, 30, 50	50 又は 60	R6.6-F6.3-6.0	210	人 - 人
	75, 100, 150, 200, 300, 500		F6.75-R6.6-F6.45-F 6.3-6.15		人 - △
			750, 1000		人 - △
			1500, 2000		人-△, △-△
	20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000, 2000	50	F6.75-R6.6-F6.45-F 6.3-6.15	420	△-△
		60			440

### 3.3 配電盤

#### 3.3.1 配電盤の概要

##### (1) スイッチギヤ及びコントロールギヤの定義

スイッチギヤ及びコントロールギヤは、開閉機器単体並びに開閉機器と操作・測定・保護・調整の器具とを組み合わせ、更に内部接続、付属物、閉鎖箱及び支持構造物を備えたこれらの機器・装置の集合体をいい、以下に示すとおり開放形に比べ安全性、信頼性、保守性に優れている。

本指針では、スイッチギヤ及びコントロールギヤと同一構造の制御盤等を含めて配電盤と呼ぶことにする。

以下の配電盤の特長から、現在では配電盤により電気設備を構成するのが一般的である。

##### (2) 配電盤の特長

###### (a) 人畜に対する安全性が大きい。

充電部の閉鎖により人が接近しても安全であり、万一、内部に事故を生じても危険の度合いが少ない。主回路の主な機器の間に隔壁を設けたものでは、適当な断路機構を設けることにより部分的な保守点検が安全にできる。

###### (b) 機器自体の保全と事故の波及防止ができる。

閉鎖されているので、外部からの損傷や小動物の侵入による事故を防止し、構造によってはじんあいに対しても防御できる。また、内部事故の隣接盤への波及が少ない。特に内部に隔壁のあるものでは、事故の波及を更に抑えることができる。

###### (c) 制御操作上の安全性が高い。

盤や機器単位ごとに適当な鎖錠装置・連動装置が設けられ、誤操作を防止できる。

###### (d) 計画が容易である。

標準化された単位を組み合わせることにより、容易な設備計画が可能である。

###### (e) 経済的である。

設備全体が小形化されるため、占有面積が少ない。また、工場で組立て試験を終えて輸送されるので、据付工期の短縮が可能である。

##### (3) 配電盤の構造

配電盤は、外部の環境から装置を保護し、かつ、充電部及び可動部に接近したり、又は接触したりすることを防止するために規定された保護等級を備えた金属製の閉鎖箱に収納されている。

そして、その構造には、アングルフレーム構造(図 3.3-1) とパネルフレーム構造(図 3.3-2) とがある。

アングルフレーム構造は、盤筐体の骨組や板材の取付をL形やC形等の鋼材で行なっているもので、パネルフレーム構造は、板材そのものに強度をもたせ、骨組となるアングルをもたないものである。



図 3.3-1 アンゲルフレーム構造例



図 3.3-2 パネルフレーム構造例

### 3.3.2 配電盤の分類

配電盤は、金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤ、高圧コンビネーションスタータ、低圧盤に分類される。

金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤは接地された金属閉鎖箱をもち、外部接続を除いて完成した組立品をいい、高圧引込盤、高圧受電盤、引込受電盤、3 [kV] 変圧器二次引込盤、主変圧器盤(6/3 [kV] )等がある。

高圧コンビネーションスタータは、高圧交流電磁接触器と高圧限流ヒューズを1対1に対応させて組み合わせ、高圧接触器には負荷の開閉及び過負荷保護を、高圧限流ヒューズには短絡保護を行わせるようにした高圧電動機始動制御装置をいい、かご形電動機用と巻線形電動機用がある。

低圧盤には低圧金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤとコントロールセンタがある。低圧金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤとは、接地された金属閉鎖箱をもち、外部接続を除いて完成した組立品をいい、コントロールセンタは、通常の盤に比べ縮小化、高密度化を行なっているため、その構造に違いがある。

一般には、負荷の数が多い場合には、コントロールセンタを採用し、そうでない場合は低圧金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤを採用するが、設置する室のスペース、安全性、保守性を考慮して決定する。

また、配電盤類は安全性、保守性の点から前背面とも扉構造のものが一般的であるが、最近では前面だけが扉のものもメーカーによっては開発されているので、スペース等に制約がある場合はこれらの製品についても検討する。

図 3.3-3 に配電盤の分類概念と適用規格について、図 3.3-4、表 3.3-1 に本指針で取り扱う配電盤の種類と適用規格の関係について示す。

#### (1) 金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤ

金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤ（以下スイッチギヤと記す）の形は、仕切板の構成を示す第1記号、主要機器の構造を示す第2記号、主回路の絶縁被覆を示す第3記号を、第1記号、第2記号、第3記号の順に組み合わせて呼称する。ただし、主回路に絶縁被覆を施さないものについては、第3記号を省略する。

それぞれの記号の種類は表 3.3-2 のとおりとする。

遮断器収納盤は取扱いの安全性から高圧主回路が隔壁で隔離され、遮断器も容易に引出せるC W形を標準とし、その他の盤についてはC X形を標準とする。

使用状況に応じて更に安全性を向上させる必要がある場合は、MY、PY形又はMW、PW形を採用する。

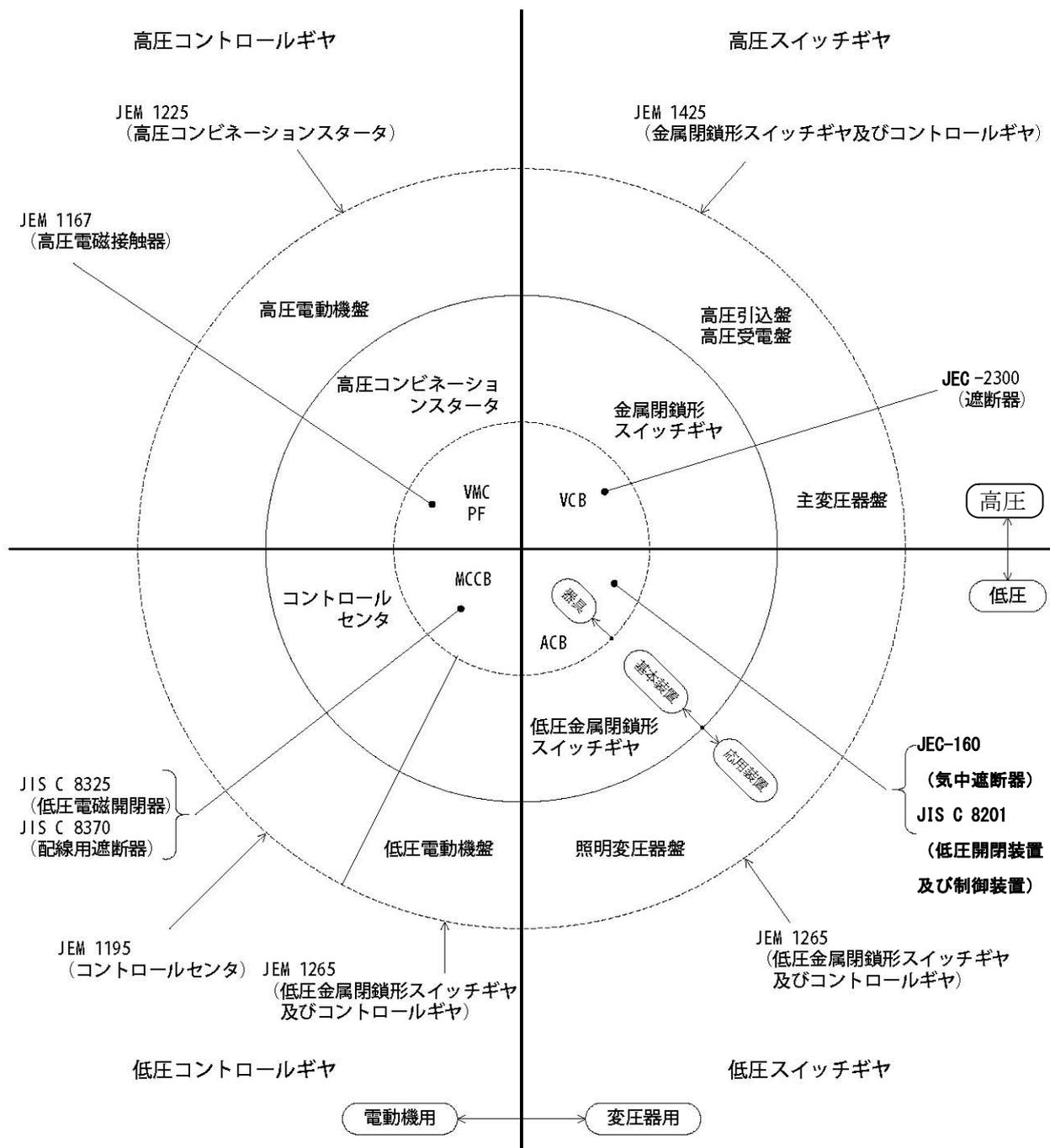


図 3.3-3 配電盤の分類概念と適用規格



表 3.3-1 配電盤の種類と適用規格

配電盤の種類 (例)		高圧引込盤	高圧受電盤	引込受電盤	3kV変圧器二次引込盤	主変圧器盤	補機用変圧器盤	照明変圧器盤	低圧分岐盤	自家発切替盤	高圧電動機盤	低圧電動機盤	低圧補機電動機盤	コントロールセンタ	低圧受電盤	自立ゲート操作盤	機側ゲート操作盤	補助継電器盤	計装盤	監視制御盤		
適用規格																						
構造・ 定格事項	JEM 1425	○	○	○	○	○	○	注 ○													金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤ	
	JEM 1225										○										高圧コンビネーションスタータ	
	JEM 1265						注 ○	注 ○	注 ○	注 △	○	注 △	注 △		注 △	注 △	注 △	注 △	注 △	注 △	注 △	低圧金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤ
	JEM 1195													○								コントロールセンタ
塗 装 色	JEM 1135	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	配電盤、制御盤及びその取付機具
共 通	JEM 1459															○	○	○	○	○	○	配電盤、制御盤の構造及び手法

注1) 個別の規格がないため準用することを示す。

注2) 変圧器盤にて高圧・低圧回路が混在する場合は、JEM1425, 1265の両方を適用する。

表 3.3-2 金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤの記号の種類  
(JEM 1425 (2011)の抜粋)

記号	記号の説明	
第1記号	M	メタルクラッド形スイッチギヤ※ <sup>1</sup>
	P	コンパートメント形スイッチギヤ※ <sup>2</sup>
	C	キュービクル形スイッチギヤ※ <sup>3</sup>
第2記号	X	固定形機器
	Y	搬出形機器
	W	引出形機器
第3記号	G	主回路の母線、接続導体及び接続部に絶縁被覆を施したもの

例1. メタルクラッド形スイッチギヤで、引出形機器を収納し、主回路に絶縁被覆を施したものは、MWG形と呼称する。

例2. キュービクル形スイッチギヤで、固定形機器を収納し、主回路に絶縁被覆を施さないものは、CX形と呼称する。

備考1. スwitchギヤの形は、機能ユニット単位に適用し、原則として列盤群で統一する。主要機器が、遮断器でない場合は、当該機器を遮断器とみなす。

2. 遮断器以外の主要機器（例えば、変圧器、計器用変圧器など）が列盤、又は段積に混在する場合などでは、遮断器と同一の形に統一することが構造的に得策でない場合があるので、必ずしも同一にする必要がない。

3. 形記号は、次に示す組合せの範囲としなければならない。

表 3.3-3 標準組合せ (JEM 1425 (2011)の抜粋)

	X	Y	W
M	—	—	MW, MWG
P	—	—	PW, PWG
C	CX	CY	CW

4. 機能ユニットの複数個を1垂直単位面に収納した多段積のメタルクラッド形又はコンパートメント形スイッチギヤにあつては、1垂直単位内のケーブルコンパートメントを区分しなくてもよい。

※1 接地された金属製仕切板によって、それぞれ区分されたコンパートメント内に各機器(遮断器、計器用変成器、母線等)が配置された構造のもの。

※2 メタルクラッド形と同じく、各機器がそれぞれ区分されたコンパートメント内に配置され、1組以上の非金属製仕切板をもつ構造のもの。

※3 メタルクラッド形、コンパートメント形以外の構造のもの。仕切板がないか、あつても保護等級規定を満足していないもの。

図 3.3-5 にCW形、及びMW (PW) 形の構造例を示す。

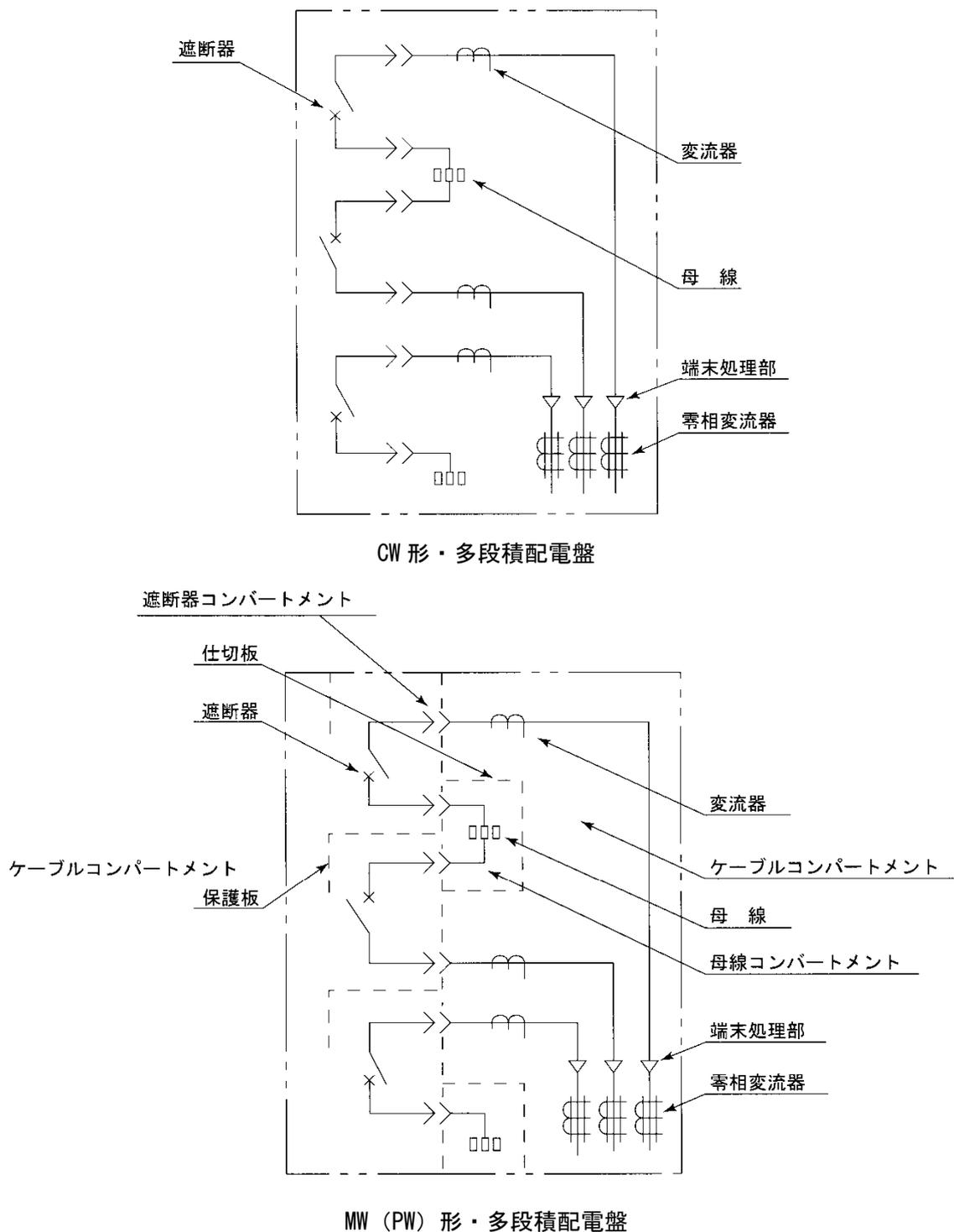


図 3.3-5 多段積配電盤の構造例

本指針では、高压引込盤はCX形、高压受電盤はCW形、引込受電盤はCW形、3 [kV] 変圧器二次引込盤はCX形、主変圧器盤 (一次 6 [kV] 又は 3 [kV]) についてはCY形 (750 [kVA] 以下) を標準とする。

(2) 高圧コンビネーションスタータ

高圧コンビネーションスタータの形は、垂直単位面の構成を示す第1記号、機能構造を表わす級別を示す第2記号を、第1記号、第2記号の順に組み合わせて呼称する

それぞれの記号の種類は表3.3-4、表3.3-5のとおりとする。

例 形式 S 機能構造級別 1

表 3.3-4 垂直単位面の構造形式 (JEM 1225 (2007) の抜粋)

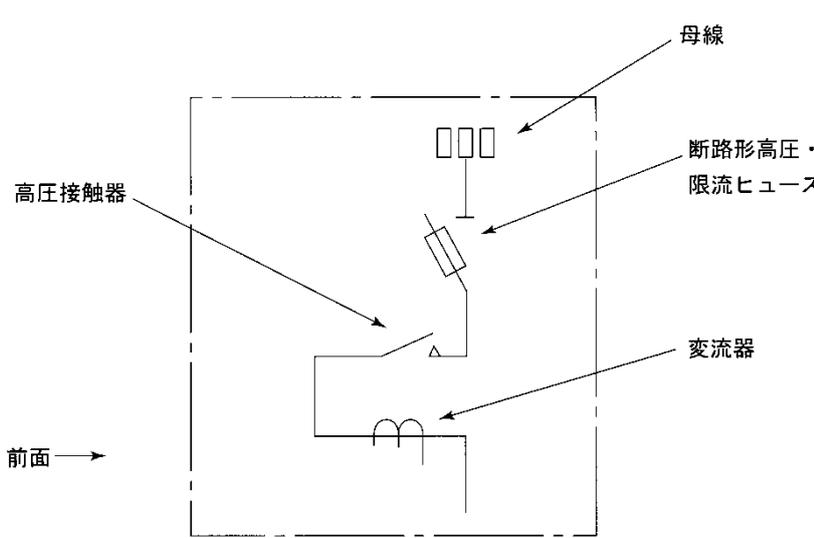
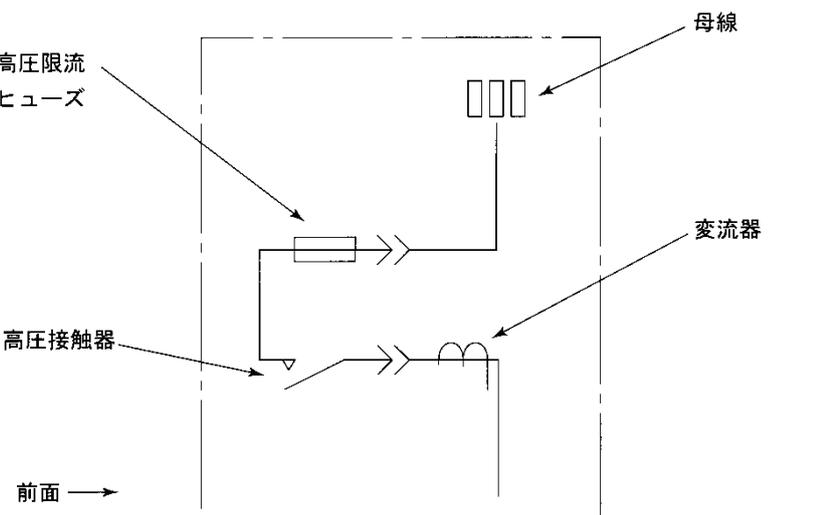
形 式	略 図 (例)
<p style="text-align: center;">S</p> <p style="font-size: small;">〔 1 垂直単位面が 1 単位回路で構成されている高圧コンビネーションスタータ 〕</p>	<p style="text-align: center;">(形式 S ・ 機能構造級別 2 の一例)</p>  <p style="text-align: center;">(形式 S ・ 機能構造級別 3 の一例)</p> 

表 3.3-4 (つづき)

形 式	略 図 (例)
<p>M</p> <p>(1 垂直単位面が 2 以上の単位回路で構成されている高圧コンビネーションスタータ)</p>	<p>(形式M・機能構造級別 4 又は 4 A の一例)</p> <p>(形式M・機能構造級別 5 又は 5 A の一例)</p>

表 3.3-4 (つづき)

形 式	略 図 (例)
<p style="text-align: center;">M</p> <p style="font-size: small;">〔1 垂直単位面が 2 以上の単位回路で構成されている高圧コンビネーションスタータ〕</p>	<p style="text-align: center;">(形式M・機能構造級別 2 又は一例)</p> <p style="text-align: center;">(形式M・機能構造級別 3 又は一例)</p>

表 3.3-5 機能構造の級別 (JEM 1225 (2007) の抜粋)

機能構造級別							条件分類	具備すべき条件		
1	2	3	4	4A	5	5A				
○							隔 壁 の 程 度	a	装置が一括して接地金属箱内に収納されていること。	
	○							b	さらに、低圧回路ヒューズなど日常点検・保守を要する低圧器具は、高圧回路に誤って触れることなく点検・保守ができること。 また、多段積の段相互間・隣接する垂直単位面相互間の高圧限流ヒューズと高圧接触器収器納部には、接地金属又は絶縁隔壁を設けること。	
		○						c	さらに、監視制御盤を開いたとき、主回路充電部に誤って触れる危険がないよう考慮され、かつ、電源側断路部は無意識に人が触れることなく十分保護された構造であること。	
			○	○				d	さらに、高圧限流ヒューズ及び高圧接触器を収納する部分は、電源側裸充電部並びに他の電線の接続導体と隔壁によって隔離されていること。 隣接する垂直単位面相互間は、母線の貫通部を除き隔壁によって隔離されていること。	
						○	絶縁の充電部	e	さらに、母線を含む電源側裸充電部とき電線の接続導体は、隔壁で隔離するか又は充電部が露出しないように絶縁されていること。	
○	○						高圧接触器の取扱構造 高圧限流ヒューズと	y	高圧限流ヒューズ及び高圧接触器が固定形であり、高圧限流ヒューズは断路形又は断路器付であること。	
		○	○		○			z <sub>1</sub>	内部引出形	高圧限流ヒューズ及び高圧接触器が同一架台に組立ててあり、その主回路には自動連結式断路部を、また、制御回路には手動連結式断路部をもつ引出形であること。
				○	○			z <sub>2</sub>	外部引出形	
		○	○	○	○	○	インタロック	—	主回路断路部でその開閉能力以上の電流を開閉することがないようインタロックを備えていること。	

備考1. 級別4・4A・5・5Aの場合にシャッタは、使用者と製造業者との協議によって取り付けるものとする。

2. ○印は、級別による具備すべき必要条件を示す。

高圧電動機盤のうち、二段積構造のもの（1面に2台分の回路を収納する場合）は、形式M 機能構造級別3を標準とし、一段積構造のもの（1面に1台分しか回路を収納しない場合）は、形式S 機能構造級別3を標準とする。

(3) 低圧金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤ

低圧金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤ（以下低圧スイッチギヤと記す）の形は、仕切の程度を示す第1記号、遮断器の構成を示す第2記号、主回路の絶縁被覆を示す第3記号を、第1記号、第2記号、第3記号の順に組み合わせて呼称する。

ただし、主回路に絶縁被覆を施さないものについては、第3記号を省略する。それぞれの記号の種類は、表3.3-6のとおりとする。

表 3.3-6 低圧閉鎖配電盤の記号の種類（JEM 1265〔2006〕の抜粋）

記号	具備すべき条件	
第1記号	A	接地された金属閉鎖箱内に装置が一括して収納されていること。
	C	更に、装置の運転中、扉を開いて操作又は補助回路の点検を必要とする場合、主回路充電部に誤って触れる危険がないよう考慮されていること。
	F	更に、個々の遮断器が独立したコンパートメントに収納されていること。
第2記号	X	固定形機器
	Y	搬出形機器
	S	差込形機器
	W	引出形機器
第3記号	G	主回路の母線、接続導体及び接続部に絶縁被覆を施したもの。(注1)

- (a) 接続部にも絶縁被覆を施すことにしたが、低圧スイッチギヤの特殊性、すなわち母線、接続導体、機器の端子などの形状を勘案し、使用者と製造業者との協議によって省略することができる。
- (b) 第1記号A、C、Fは、条件累積式分類を、第2記号X、Y、S、Wは、条件非累積式を用いた。例えば、第1記号Cは条件Aを、第1記号Fは条件A、Cを併せて具備するものであり、一方、第2記号X、Y、S、Wにはこの関係はない。
- (c) 低圧スイッチギヤの形は、収納される遮断器の種類ごとに列盤群に対して適用する。例えば、気中遮断器(ACB)収納部分はFW形で、MCCB収納部分はCX形のよう  
に適用する。主要機器が遮断器でない場合は、当該機器を遮断器に置き換えて適用する。
- (d) 遮断器以外の主要機器（例えば、変圧器、計器用変圧器など）が列盤又は段積み中に混在する場合などは、遮断器と同一の形に統一することが構造的に得策でない場合があるので、遮断器の構造と必ずしも同一にする必要がない。
- (e) 形記号は、原則として表3.3-7に示す組合せ範囲とすること。
- (f) 第2記号X形及びY形は、遮断器の取り外し時に必ず主回路の停電を必要とし、S形にあっては、原則として主回路の停電を行う必要がある。遮断器の取外し時間はS形が短く、以下、Y形、X形の順に長くなるので、形の選定の参考にされたい。

表 3.3-7 標準組合せ (JEM 1265 [2006])

		第 2 記 号			
		X	Y	S	W
第 1 記号	A	A X	A Y	A S	—
	C	C X	C Y	C S	C W
	F	—	—	—	FW, FWG

本指針では、一次電圧 200 [V] 又は 400 [V] の照明変圧器盤、照明・補機変圧器盤は C Y 形、低圧分岐盤、自家発切替盤、低圧電動機盤、補機電動機盤、低圧受電盤は C X 形を標準とする。

(4) コントロールセンタ

コントロールセンタの形は、片面か両面の形を示す第 1 記号、制御動作の種類を示す第 2 記号、主回路の外部接続方式を示す第 3 記号、制御回路の外部接続方式を示す第 4 記号を、第 1 記号、第 2 記号、第 3 記号、第 4 記号の順に組み合わせて呼称する。

それぞれの記号の種類は、表 3.3-8 のとおりとする。

また、コントロールセンタの分類は、保護を示す第 1 記号、構造を示す第 2 記号、監視制御用品を示す第 3 記号を、第 1 記号、第 2 記号、第 3 記号の順に組み合わせて呼称する。

それぞれの記号の種類は、表 3.3-9 のとおりとする。

表 3.3-8 コントロールセンタの形式 (JEM 1195 [2018] の抜粋)

記号順	番号	表示記号	形式の内容	備考
1	形	S	機能ユニットがコントロールセンタの片面だけにあるもの。	片面形
		D	機能ユニットがコントロールセンタの両面にあるもの。	両面形
2	種類	1	主回路開閉器や制御用品などの単なる集合体であって、機能ユニット相互又は外部装置との電氣的連動は行わないもの。	コントロールセンタの寸法見取図及び単位装置だけの接続図を付ける。
		2	制御システムを考慮して設計され、機能ユニット相互又は外部装置と電氣的に連動するもの。	上記ほか、制御システムの動作を説明する適当な図面を付ける。
3	主回路外部接続方式	A	負荷接続用の端子台は特に設けず、外部との連絡は直接各機器の端子と接続する方式のもの。	—
		B	負荷接続用の端子台は、各機能ユニット又はその近くに置き、外部との連絡は直接その端子台と接続する方式のもの。	—
		C	負荷接続用の端子台は、一括集合した総括端子室を設け、各機能ユニットとの接続をしておき、外部との連絡は総括端子室で行う方式のもの。	各機能ユニットと総括端子室間との接続図を付ける。
4	制御回路外部接続方式	A	補助回路接続用の端子台は特に設けず、外部との連絡は直接各機器の端子と接続する方式のもの。	—
		B	補助回路接続用の端子台は、各機能ユニット又はその近くに置き、外部との連絡は直接その端子台と接続する方式のもの。	—
		C	補助回路接続用の端子台は、一括集合した総括端子室を設け、各機能ユニットとの接続をしておき、外部との連絡は総括端子室で行う方式のもの。	各機能ユニットと総括端子室との接続図を付ける。

表 3.3-9 コントロールセンタの分類 (JEM 1195 [2018] の抜粋)

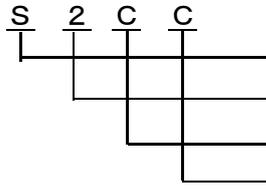
記号順	項目	表示記号	分類の内容
1	主回路保護装置	B	機能ユニットの主回路短絡保護装置として遮断器を使用する。
		F	機能ユニットの主回路短絡保護装置としてヒューズを使用する。
		C	上記のBとFを組み合わせて使用する。
2	機能ユニットの形	X	固定形機能ユニット
		W	引出形機能ユニット
3	操作部構造	a	機能ユニット区分毎に装置が収納されており、扉の表面から機能ユニットの遮断器又は開閉器(13)を操作できる。
		b	更に、機能ユニットの扉は、遮断器又は開閉器(13)が閉路状態では開けず、扉が開の状態では遮断器又は開閉器(13)は閉路できないインタロックが設けられている。
		c	更に、機能ユニットの主回路機器は、閉又は開の状態が必要に応じ施錠できる。
		d	更に、扉の表面から機能ユニットの過電流保護装置などを間接的に復帰する操作部が設けられている。
4	仕切板による区分	1	コントロールセンタの母線、機能ユニット及び総括端子室相互間には区分遮へいの目的のための仕切板などが設けられていないもの。
		2	コントロールセンタの水平母線質、垂直母線室と機能ユニット間は接続部を除き仕切板などがあるもの。
		3	2に加えて、機能ユニット室の間に上下の仕切板などがあるもの。
5	仕切板による区分	A	監視・制御用品(スイッチ、信号灯又は故障表示灯、計器など)を設ける。
		B	機能ユニット毎に操作用変圧器を設ける。
		C	上記のAとBの両方を設ける。

注(1<sup>3</sup>) ここにいう開閉器とは、遮断器も含め、広い意味での開路・閉路を行う装置をいう。

### 第3章 機器の選定

コントロールセンタとしては、下記の形式、分類のものを標準とする。ただし、設置スペース、フューダ数によっては、両面形(D)も検討対象とすること。

#### 標準形式

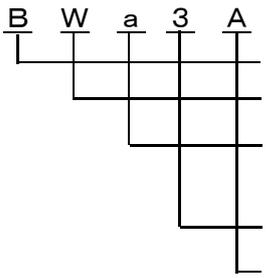


片面形

機能ユニット又は外部と電氣的に連動するもの。

負荷接続用端子を総括端子室に設けるもの。

制御接続用端子を総括端子室に設けるもの。標準分類



機能ユニットの短絡保護として遮断器を設けるもの。

引出形、機能ユニット

単位回路区分毎に装置が収納されていて扉表面から遮断器又は開閉器が操作できるもの。

仕切板が設けられているもの

監視制御用品を設けたもの。

この形式分類は次のような特徴がある。

**形式 S**・・・主回路母線の保守点検が容易。

**2**・・・コントロールセンタ以外の操作場所があるため。(現場、盤監視操作盤、等)

**CC**・・・コントロールセンタと他の盤、負荷との取合い端子が一個所であり、点検が容易。

**分類 B**・・・短絡保護用として最も信頼性の高い遮断器を使用する。

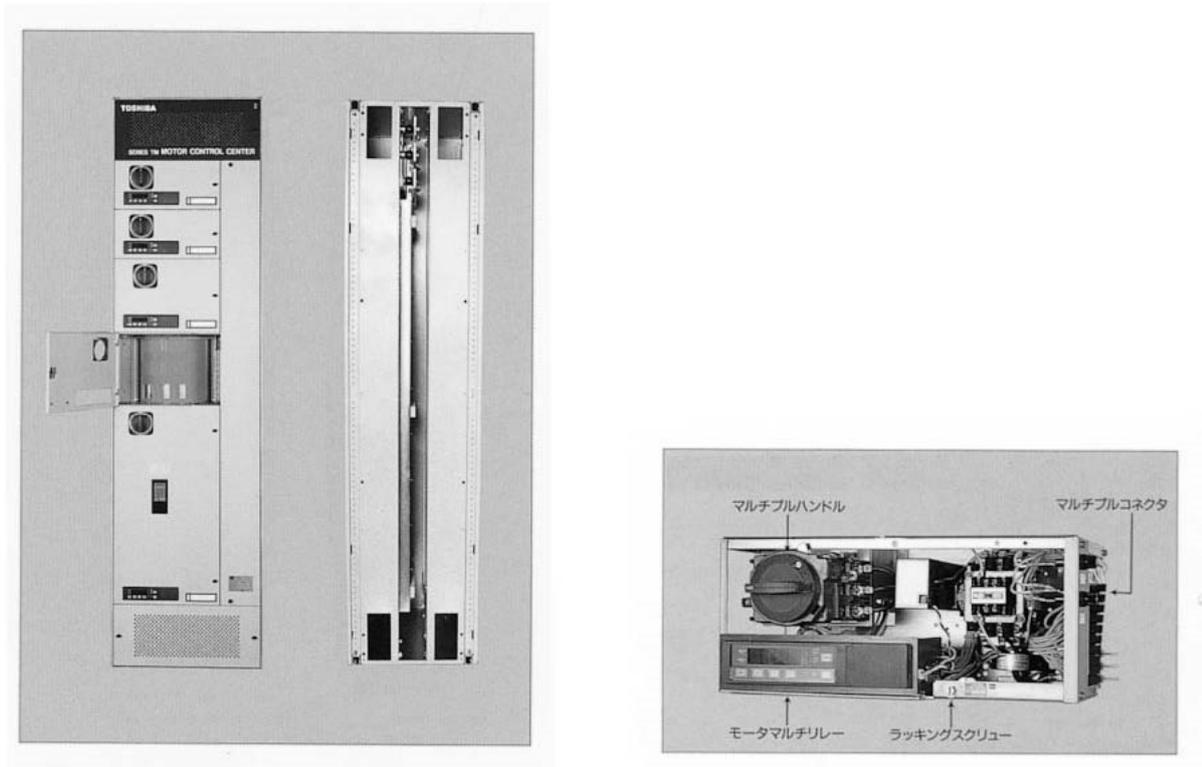
**W**・・・ユニット引出しが容易に行なえるようユニットと外部の接続をすべて自動連結とする。

**a**・・・保守点検、日常操作時の安全性を確保するために、単位装置毎に回路が分離、絶縁され扉を開けずに一通りの操作が可能なものとする。

**3**・・・コントロールセンタの母線、機能ユニット、総括端子台室相互間に区分遮へいの目的のための仕切板を設けるものとする。

**A**・・・監視制御用品としてスイッチ、信号灯、故障表示灯、計器等を設けたものとする。

コントロールセンタの外観例、ユニット外観例、水平断面例を図 3.3-6 に示す。

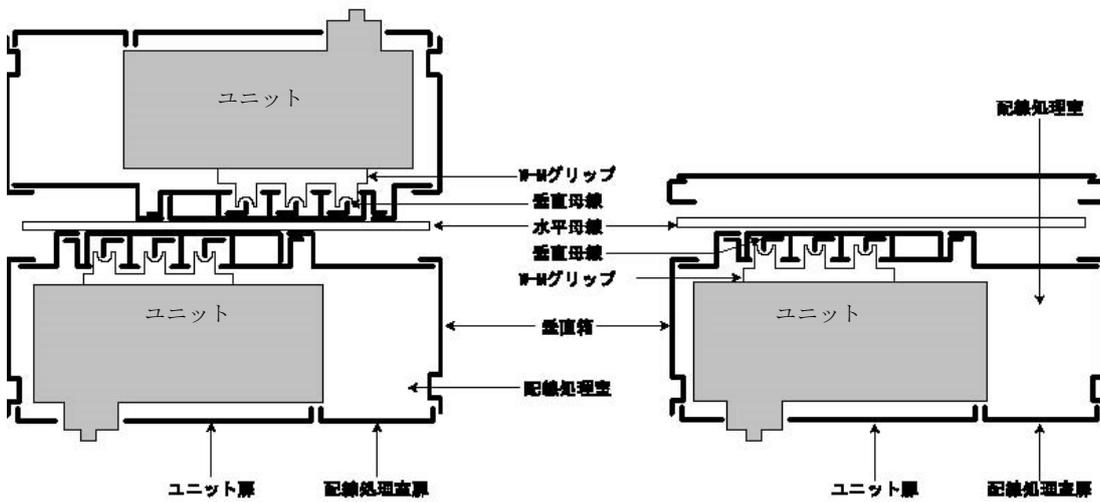


(1) 外 観 例

(2) ユニット外観例

■基本形垂直断面(両面形)

■薄形垂直断面



(3) 水平断面図例

図 3.3-6 コントロールセンタの構造例

3.3.3 配電盤取付機器

配電盤に取付けられる機器の機能を大別すると次の4つが挙げられる。

- ・回路を接続又は切り離す。
- ・電圧，電流を変える。
- ・回路の状態を検知する。
- ・機器を動作させる。

一つの機器でこれらすべての機能を持つものもあれば各々の機能の一部分しか持たないものもあり、使用条件に合った機器構成とする必要がある。

なお、配電盤取付機器の規格選定に当たっては、回路に接続された各種負荷に対して必要な定格を有する機器を選定するものとし、かつ保護協調が図られるものとする必要がある。

本項では、配電盤取付機器の機能の概要について述べる。

(1) 断路器 (図 3.3-7)

断路器は文字どおり「電路のつながりを断つ機器」である。電流を開閉することは不可能であるため、通常前後の遮断器とインターロックをとって誤操作を防いでいる。

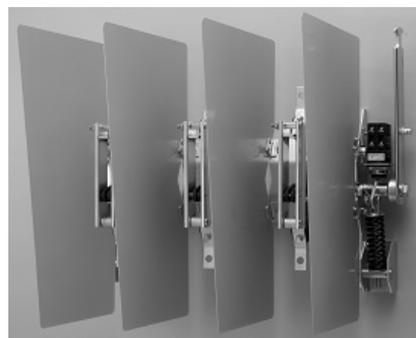
接続部分の開閉状態を直接目視で確認でき、保守点検作業時に安全確実に電路を切り離す機器として設置される。本指針では高圧引込盤，引込受電盤及び3kV変圧器二次引込盤に適用する。

断路器(DS)の定格(例)

適用規格	構造	極数	定格電圧	定格周波数	定格電流	定格短時間電流	文字記号	図記号
JEC-2310 (2014) JIS C 4606 (2011)	屋内 単投	3 極	7.2kV	50/60Hz	400A	12.5kA	DS	



1 極形



3 極形

図 3.3-7 断路器の外観例

(2) 遮断器 (図 3.3-8)

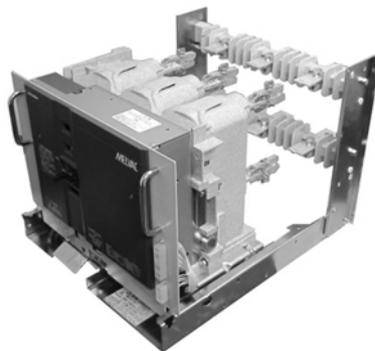
電流の遮断を行なう機器で、短絡電流等過酷な異常電流を開閉する能力を持っている。

(8) 項に述べる保護継電器が異常を検知したときに、遮断器が異常個所を迅速確実に健全な電路から切り離す機能を持つため、最も信頼性を必要とする機器の1つである。

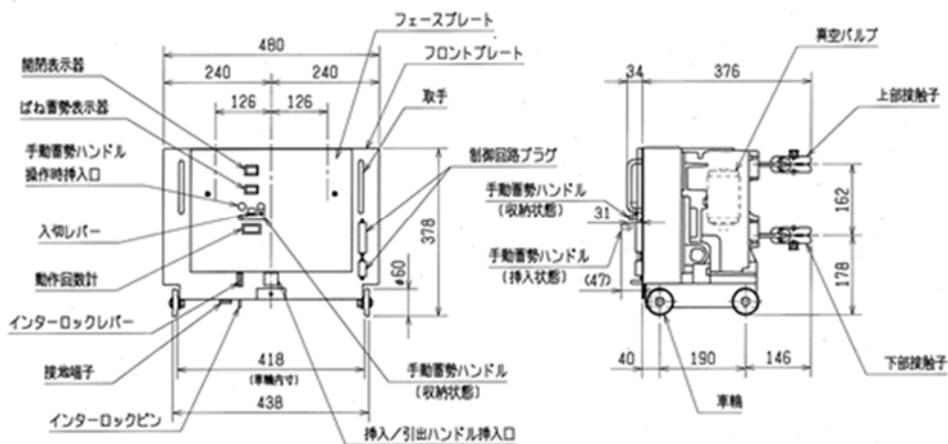
本指針では高圧受電盤、引込受電盤に適用する。

遮断器 [真空遮断器 (VCB)] の定格 (例)

適用規格	構造	定格電圧	定格周波数	定格電流	定格遮断電流	投入方式	引出し方式	文字記号	図記号
JEC-2300 (2010) JIS C 4603 (1990)	引出式	3.6/ 7.2kV	50/60Hz	600A	12.5kA	ソレノイド操作/ 電動ばね 操作	電圧 引外し	VCB	



高圧真空遮断器の外観例



高圧真空遮断器の構造例

図 3.3-8 高圧真空遮断器

(3) 電磁接触器(図 3.3-9)

短絡電流などの過酷な異常電流の開閉を行うことはできないが、通常の電流開閉については、遮断器より開閉寿命が長い。電力用ヒューズと組み合わせたものは図 3.3-9 のようなユニットタイプとなり、遮断器と同等の遮断能力を持つことができるため、電動機回路などのように頻繁に開閉を行う個所に使用される。本指針では高圧電動機盤に適用する。

電磁接触器 [真空電磁接触器 (VMC)] の定格 (例)

適用規格	構造	定格使用電圧	定格周波数	定格電流	定格遮断電流	文字記号	図記号
JEM 1167 (2007)	固定式/ 引出式	3.3/6.6kV	50/60Hz	200A	4 kA	VMC	
				400A			

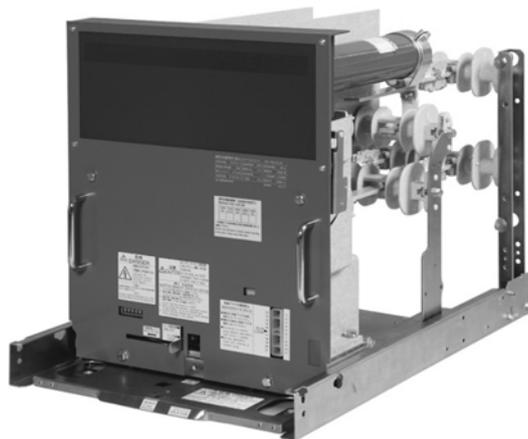


図 3.3-9 高圧真空コンビネーションユニットの外観例

(4) 負荷開閉器 (図 3.3-10)

経済形遮断装置として高圧限流ヒューズと一体に組合わせ、ヒューズには過電流とくに短絡電流の保護を、負荷開閉器には負荷電流の開閉を行なわせるもので、開閉頻度の少ない個所に使用される。本指針では主変圧器盤や、一次 6 [kV] 又は 3 [kV] の補機用変圧器盤、照明変圧器盤の変圧器一次側に適用する。

負荷開閉器 [限流ヒューズ付高圧負荷開閉器 (LBS)] の定格 (例)

適用規格	構造	極数	定格電圧	定格周波数	定格電流	定格投入遮断電流	文字記号	図記号
JIS C 4611 (1999)	屋内単投	3 極	7.2kV	50/60Hz	200A	12.5KA (組合わせ ヒューズによる)	LBS	

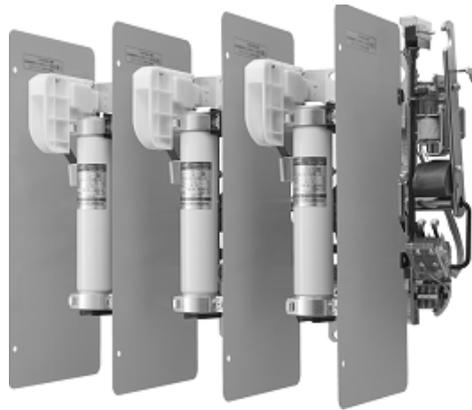


図 3.3-10 限流ヒューズ付高圧負荷開閉器の外観例

(5) 電力ヒューズ (図 3.3-11)

過負荷電流、短絡電流を遮断するための機器で、ヒューズエレメントが流れる電流により発熱し溶けて遮断される。遮断特性は、保護継電器と比べ巾が広く精度の高い保護には向かないが、遮断時間が短いという特長を持つ。電力ヒューズで遮断を行なったあとはヒューズの交換が必要であるが、常時電流によるエレメントの劣化も考えられるので、定期的な交換も必要である。現在用いられる電力ヒューズは、事故電流を抑制する機能（限流）を有しており、このヒューズと高圧電磁接触器を組み合わせることにより、電動機の開閉にも用いられる。

電力ヒューズ (PF ) の定格 (例)

適用規格	定格電圧	定格遮断電流	定格周波数	文字記号	図記号
JEC-2330 (2017) JIS C 4604 (2017)	7.2kV	40kA	50/60Hz	PF	



図 3.3-11 電力ヒューズの外観例

(6) 避雷器 (図 3.3-12)

電力会社の配電線路から侵入する雷サージや故障時の異常電圧の発生に対して、需要家側の機器を守るために設置される。

サージ電圧を避雷器のもつ制限電圧以下に抑制し、機器の破損や絶縁物の損傷を防ぐ。

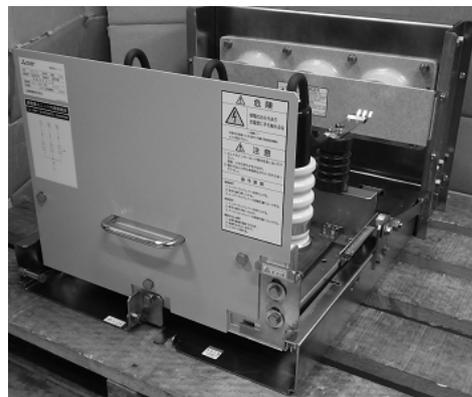
架空引き込み方式の場合は特に電力会社の要請がない限り構内第一柱に取付けるのを標準とする。ただし構内第一柱と受電設備の間に距離がある場合は、避雷器を保護する機器に近い位置に設置する意味から、これ以外に高圧引込盤の断路器の直後にも設けることを検討する。

避雷器 (SAR) の定格 (例)

適用規格	定格電圧	定格周波数	公称放電電流	雷インパルス制限電圧	文字記号	図記号
JEC 2374 (2015)	4.2kV	50/60Hz	2.5kA 又は 5kA	17kV	SAR	
JIS C 4608 (2015)	8.4kV			33kV		



避雷器本体



引出形ユニット

避雷器の外観例

図 3.3-12 避雷器

(7) 計器用変成器 (図 3.3-13)

高圧や低圧の電路から回路の電圧、電流等の計測や検知を目的に取り出す際に使用するものである。電圧は計器用変圧器(VT)によって110[V]に、電流は計器用変流器(CT)によって5[A], 1[A]等にして取り出す。

また、計器用零相変流器(ZCT)は誘導円板形の地絡方向継電器に使用される。高圧受電用では静止形地絡継電器が使用されることが多く特性がメーカーによって異なるため、地絡継電器と組み合わせになったものを使用する。

計器用変圧器 (VT) の定格 (例)

適用規格	定格1次電圧	定格2次電圧	定格負担	定格周波数	文字記号	図記号
JEC-1201 (2007)	440V	110V	50/100VA	50/60Hz	VT	
JIS C 1731-2 (1998)	3300V					
	6600V					

計器用零相変流器 (ZCT) の定格 (例)

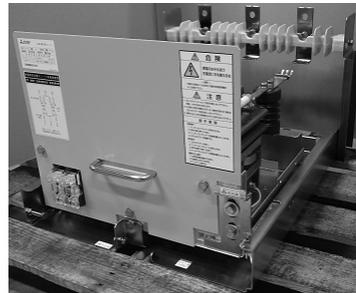
適用規格	定格零相1次電流	定格零相2次電流	定格負担	定格周波数	文字記号	図記号
JEC-1201 (2007)	200mA	1.5mA	10Ω	50/60Hz	ZCT	
JIS C 1731-1 (1998)						

計器用変流器 (CT) の定格 (例)

適用規格	定格1次電流	定格2次電流	定格負担	定格周波数	文字記号	図記号
JEC-1201 (2007)  JIS C 1731-1 (1998)	10A	5A	25/40VA	50/60Hz	CT	
	15A					
	20A					
	30A					
	40A					
	50A					
	60A					
	75A					
	100A					
	150A					
	200A					
	300A					
	400A					
	500A					
	600A					
	750A					



VT



引出形 VT



ZCT



CT

図 3.3-13 計器用変成器の外観例

(8) 保護継電器 (図 3.3-14)

計器用変成器で取り出した回路の電圧、電流によって、回路の異常を検知するものである。よく使われるものに、次のものがある。

また、近年では 自己監視機能を搭載し、振動・耐衝撃性（誤動作防止）に優れたデジタル式の静止型保護継電器が主流となっている。

- |                   |                        |
|-------------------|------------------------|
| (a) 過電流継電器 (51)   | 短絡、過負荷を検知              |
| (b) 地絡過電流継電器(51G) | 地絡を検知                  |
| (c) 地絡方向継電器 (67)  | 継電器の検出位置から一方に発生した地絡を検知 |
| (d) 不足電圧継電器 (27)  | 停電を検知                  |
| (e) 過電圧継電器 (59)   | 電圧の異常上昇を検知             |
| (f) 地絡過電圧継電器(64)  | 地絡時の零相電圧により地絡を検知       |
| (g) 比率差動継電器(87)   | 変圧器の短絡を検知              |
| (h) 2要素継電器 (2E)   | 過負荷、欠相を検知（電動機用）        |
| (i) 3要素継電器 (3E)   | 過負荷、欠相、逆相を検知（電動機用）     |



電気機械形保護継電器の外観例



デジタル形保護継電器の外観例

図 3.3-14 保護継電器

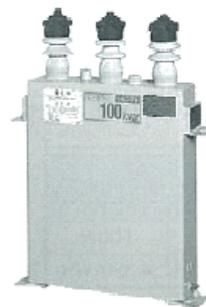
(9) 進相コンデンサ (図 3.3-15)

- (a) 進相コンデンサ(SC)本体

進相用コンデンサには、使用される電圧により、低圧進相コンデンサ (200 [V], 400 [V])、高圧進相コンデンサ (3300 [V], 6600 [V]) の種別がある。



低圧進相コンデンサの外観例



高圧進相コンデンサの外観例

図 3.3-15 進相コンデンサ

進相コンデンサは、使用電圧に応じて設計された厚さの絶縁紙数枚と金属はく電極（一般に純度の高いアルミはく）とを図 3.3-16 に示すように交互に重ね合わせ平巻きされたコンデンサ素子を主体としている。

最近、絶縁紙だけでなく、更に電気的特性の優れたプラスチックフィルムが多く使用されている。

コンデンサ素子を電圧及び容量に応じて適当数直列及び並列に接続配列し、図 3.3-17 に示すように鋼板製のケース内に収納し、絶縁油を含浸した後密封されている。

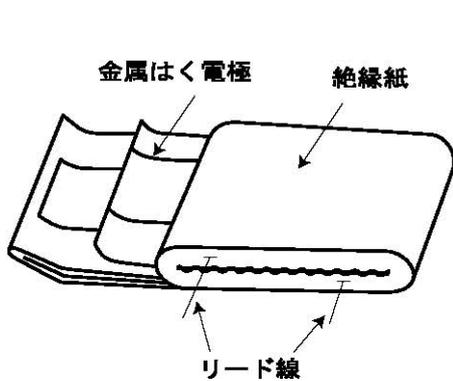


図 3.3-16 コンデンサ素子の構造例

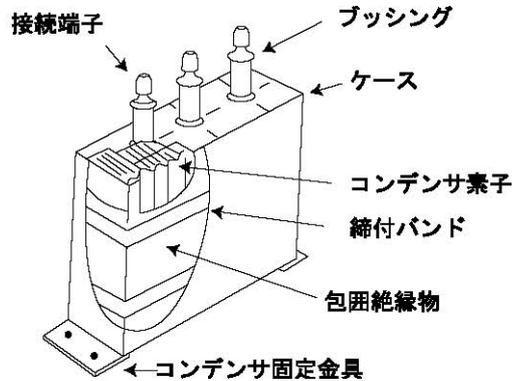


図 3.3-17 高圧進相コンデンサ内部の構造例

進相コンデンサの保護方式としては、計器用変流器と過電流継電器を設けて過電流を検出し、一次側の遮断器を開放する方式と、進相コンデンサの一次側に電力ヒューズを設ける方式などがある。

過電流継電器による保護方式は、コンデンサの構造によっては一部の素子の破壊の検出は困難であり、完全短絡まで検出できないことが多く、完全な保護は困難な場合がある。

電力ヒューズによる保護方式は、短絡電流を限流し、極めて短時間に遮断する能力を有するので、比較的簡単で大きな効果が得られるが、コンデンサ投入時の突入電流やコンデンサ容器破壊確率曲線と協調のとれたものを選定する必要がある。

最近では、進相コンデンサ内部で検出保護する方式を適用したものも開発されつつあり、これらの代表例を表 3.3-10 に示す。

表 3.3-10 進相コンデンサ保護方式

保護方式	内容	回路構成例	適用
中性点電流検出方式	コンデンサ内部素子を Y-Y 結線し、中性点間に電流検出コイルを挿入したもので、1素子の破壊を確実に検出して動作する		高圧進相コンデンサ
保安装置内蔵方式	内圧上昇によるケース変形力を利用して内部の電流通路を切断して電流を自己遮断する保安装置等を内蔵したものの		低圧進相コンデンサ 高圧進相コンデンサ
保護接点方式	破壊時に発生するガスによるケース内圧上昇を検知して、所定圧力に達した時に動作する保護接点を備えたもの		低圧進相コンデンサ 高圧進相コンデンサ

表 3.3-11 進相用コンデンサの標準定格仕様例

種 別	高圧進相コンデンサ		低圧進相コンデンサ	
適用規格	JIS C 4902(2010)		JIS C 4901(2013)	
相 数	三 相		単相, 三相	
定格電圧 [V]	3300	6600	200	400
定格周波数 [Hz]	50 又は 60		50 又は 60	
定 格 容 量	10.6, 16.0, 21.3, 26.6, 31.9, 53.2, 79.8, 106, 160, 213, 266, 319, 426, 532, 798, 1060, 1600, 2130, 3190, 4260, 5320 [kvar]		10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 750, 900, 1000 [μF]	

#### (b) 付属装置及び組合わせ機器

##### ① 放電装置

進相コンデンサを線路から開放した場合、進相コンデンサに電荷が残り（これを残留電荷という）、しかもなかなか放電しないため、コンデンサの取扱いや点検に当たって危険である。

このため残留電荷を短時間に放電する装置が必要で、放電抵抗あるいは放電コイルが進相コンデンサと並列に接続される。

##### (ア) 放電抵抗

低圧進相コンデンサあるいは中小容量の高圧進相コンデンサでは、放電抵抗が内蔵されている場合が多く、低圧進相コンデンサでは、解放後1分間でコンデンサの端子電圧を50[V]以下、高圧進相コンデンサは開放後5分間でコンデンサの端子電圧を50[V]以下に低下させるような抵抗が使用されている。（図3.3-18参照）

##### (イ) 放電コイル

放電コイルは、放電抵抗と同様の目的で使用されるもので、進相コンデンサ開放後5秒間でコンデンサの端子電圧が50[V]以下となるようなコイルが使用される。大規模施設などで自動力率制御を行なう場合に用いる。

##### ② 直列リアクトル（JIS C 4902 [2010]）

回路の電圧は主として変圧器の磁気飽和により、もともと幾らかひずんでいるが、進相コンデンサを接続することにより、このひずみが拡大されることがある。ひずみが大きくなると電動機、変圧器などの騒音増大、継電器の誤操作あるいは機器の損失が増加するといった障害を起こすことになる。

また、進相コンデンサ回路を系統に投入した場合、投入時突入電流が流れ系統の波形を乱し、場合によっては突入電流で進相コンデンサが破損したり、系統に異常電圧を発生させたりする。これを防ぐため、原則として進相コンデンサには直列リアクトルの設置が必要となる。

許容電流種別は、基本的に特別高圧設置はⅠ種（ $I_5=35\%$ ）、高圧及び低圧設備はⅡ種（ $I_5=55\%$ ）とする。

一般に電力系統には第5、第7、第11次高調波等奇数次高調波電流源が存在し、特に低次である第5、7高調波電流は、進相コンデンサに流入し損傷を与えることがある。したがってコンデンサ回路のリアクタンスが第5次以上の高調波に対して誘導性となるよう進相コンデンサ容量の6%に相当する容量の直列リアクトルを設置する。

許容電流種別は、基本的に特別高圧設備はⅠ種、高圧設備はⅡ種とする。（許容電流種別は第2章2.5.2(4)直列リアクトルの設置の項を参照）

しかし、電源系統に第3高調波の影響が無視できない場合や第5高調波電圧のひずみが大きい場合には、リアクタンス6%にて第5調波含有率70%まで許容できる直列リアクトル、又は13%の直列リアクトルが用いられる。直列リアクトルを設置すれば、高調波電圧歪の拡大防止が図られるだけでなく、進相コンデンサ投入時の突入電流を抑制する効果がある。

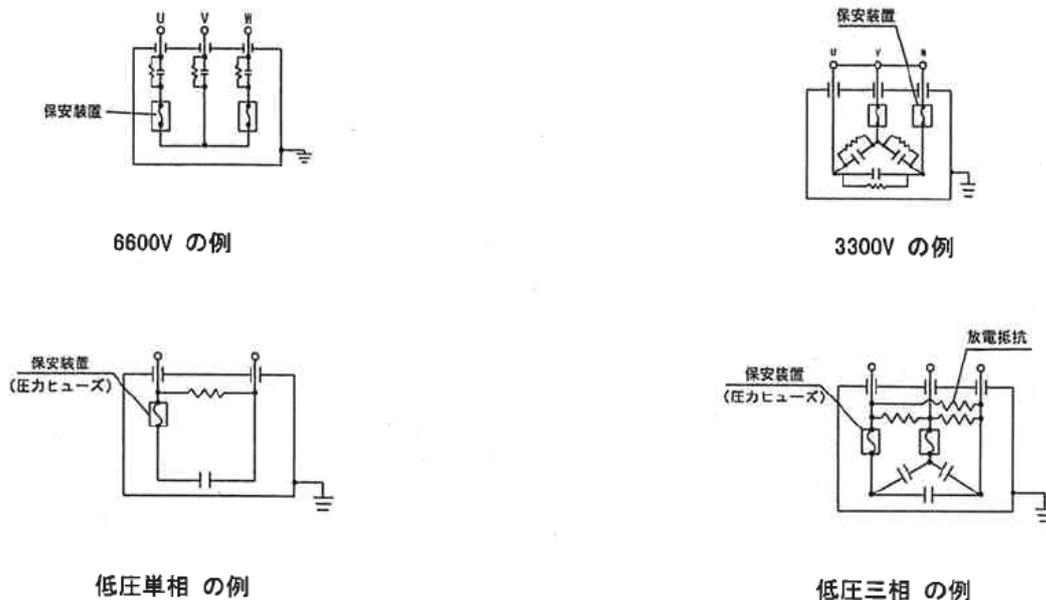


図 3.3-18 進相コンデンサの内部接続例

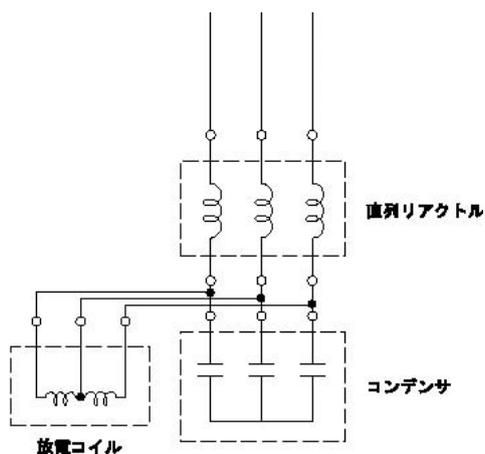
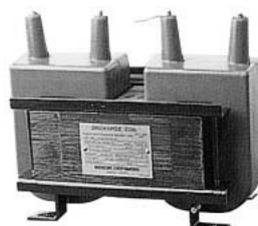


図 3.3-19 進相コンデンサと付属装置の接続例



直列リアクトルの外観例



放電コイルの外観例

図 3.3-20 付属装置

### 3.3.4 配電盤の構成と選定

#### (1) 配電盤の選定

本指針で取り扱う配電盤には図 3.3-4 に示すような種類のものがあるが、設計に当たっては具体的な電気設備の構成を検討しながら選定する必要があり、その手順を図 3.3-21 に示す。

電気設備は施設の規模や運転対象である機械設備の種類、台数、運転方法などの相違によって、類似施設であっても配電盤の構成が異なる。このため、図 3.3-21 に示す手順で基本的な選定を行ったあと、信頼性、経済性、保守性などの観点から全体を再度見直し、適切な構成としなければならない。

配電盤の選定に当たっては各項の仕様や選定上の注意事項を参考にするほか、特にコントロールセンタや補助継電器盤の適用に当たっては次の点に留意する。

#### (a) コントロールセンタと低圧補機電動機盤の適用の考え方

低圧補機回路の収納先はコントロールセンタを基本とするがコントロールセンタの面数(片面面積換算)が2面以下(ユニット数換算でおおむね14台以下)となる設備では低圧補機電動機盤を選定する。

なお、補機回路数(MCCB 電源送りも含む)が3回路以下の場合は、他の低圧盤に収納できるかについても検討する。

また、低圧受電の場合は電灯分岐回路を収納するかどうかや、受電盤への補機回路の収納などについても検討し、補機回路数が上記より多い場合でも、低圧補機電動機盤の選定を検討する。

#### (b) 補助継電器盤の適用の考え方

補助継電器類の収納先は次のように選定する。

- ① 該当設備が次のいずれかの条件にあてはまる場合は補助継電器盤を選定する。
  - (ア) 低圧補機回路用としてコントロールセンタを選定した場合。
  - (イ) 主電動機の電圧が高圧(6/3 [kV])である場合。
  - (ウ) 自動制御を行なう場合。
- ② 主ポンプがディーゼル機関駆動方式で補機回路を低圧補機電動機盤に収納する場合、補機回路数(MCCB 電源送りも含む)が8台以上の時は補助継電器盤を選定する。補助回路数が7台以下の時は低圧補機電動機盤の空スペースを利用できるかどうか検討する。

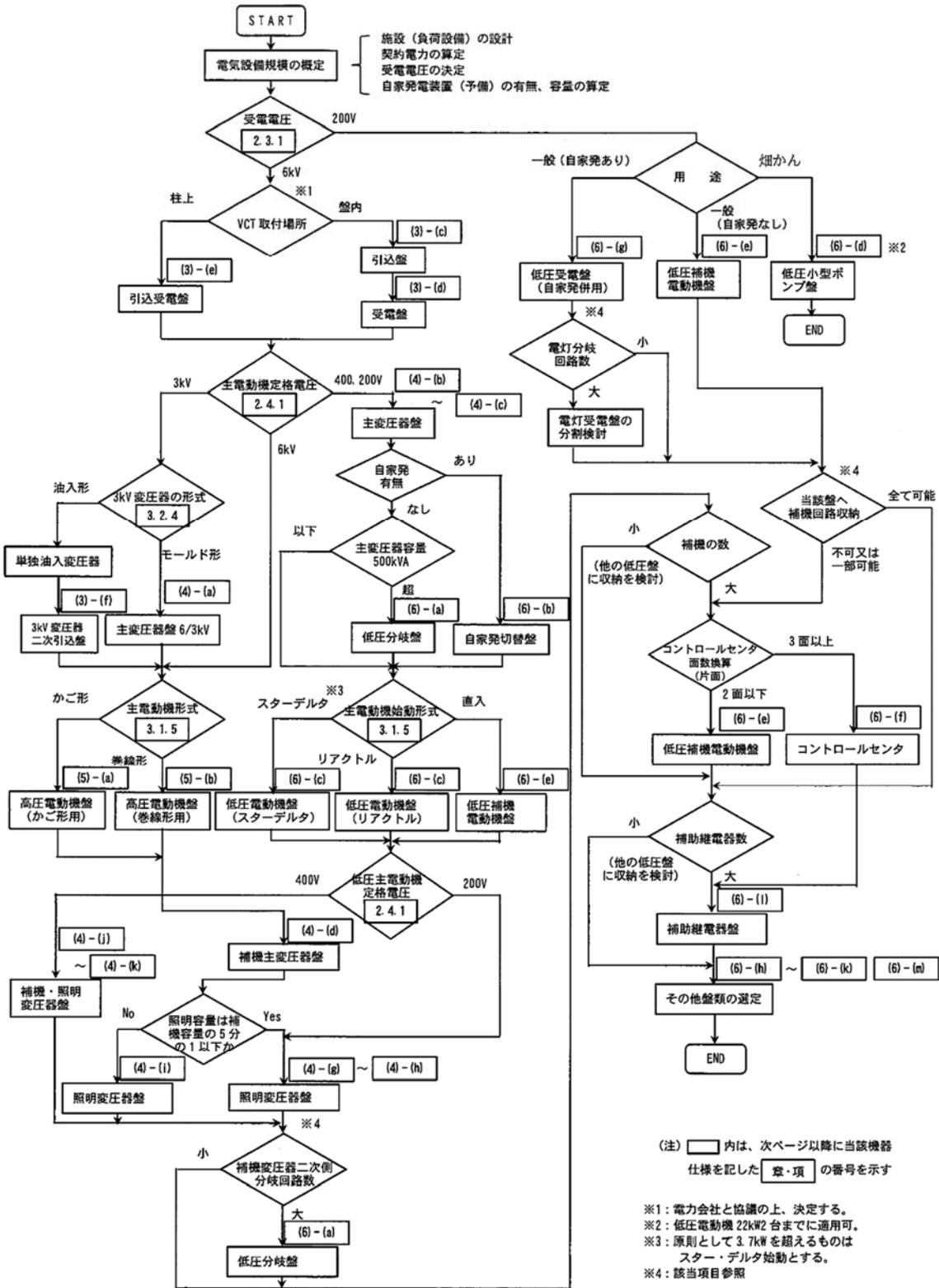


図 3.3-21 電気設備の盤類選定手順フロー図

(2) 配電盤の構成

図 3.3-22 に電気設備の配電盤構成を示す。

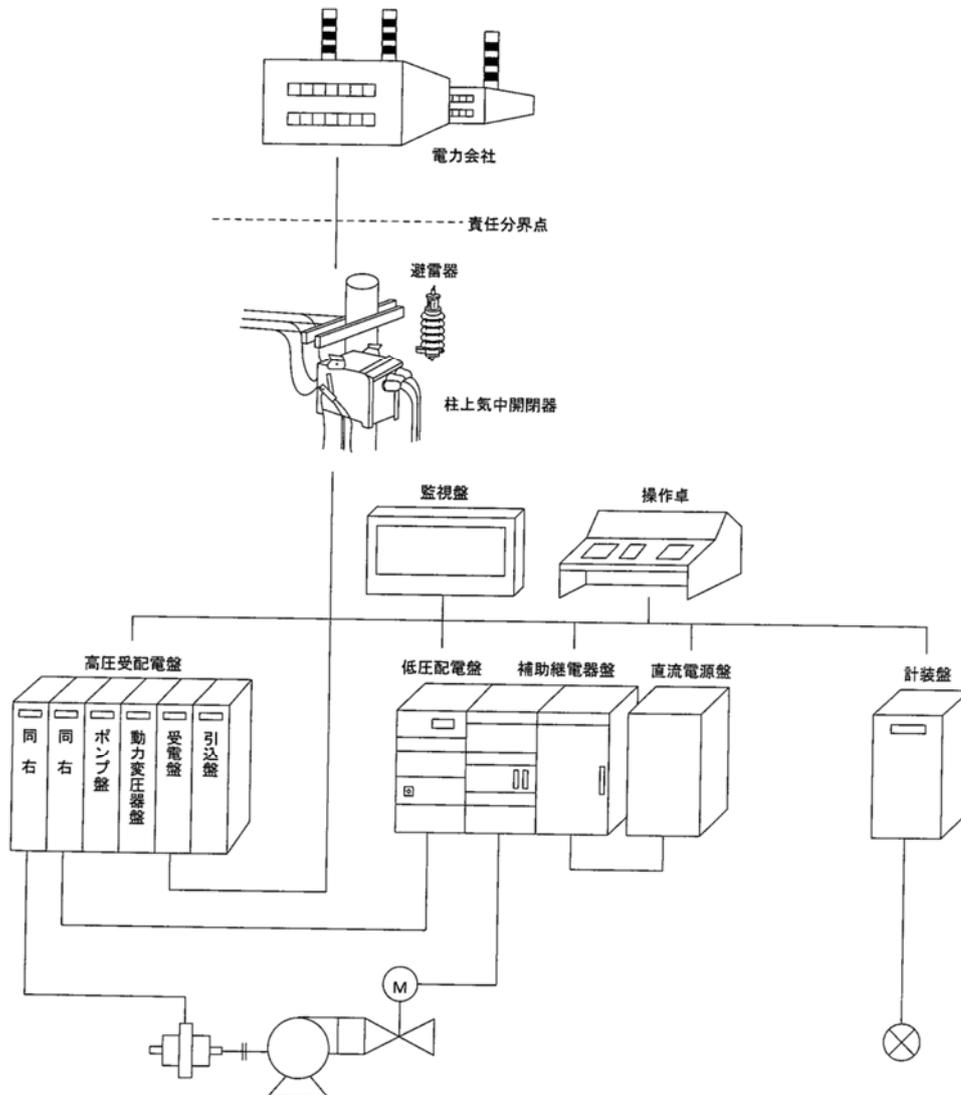


図 3.3-22 電気設備の盤構成例

(3) 引込・受電盤類

(a) 柱上気中開閉器 (PAS)

高圧引込の引込回線に設ける開閉器で、電力会社と需要家の区分開閉器として使用する。引込柱上に設置し、手動開閉操作を行う。また、地絡保護機能を有する。消弧媒質としては真空、気中、ガス、油入があるが、経済性から気中開閉器を使用するのが一般的であり、本指針でも気中開閉器とする。(油入は可燃性、爆発性の問題があり、現在ではほとんど使用されていない。)

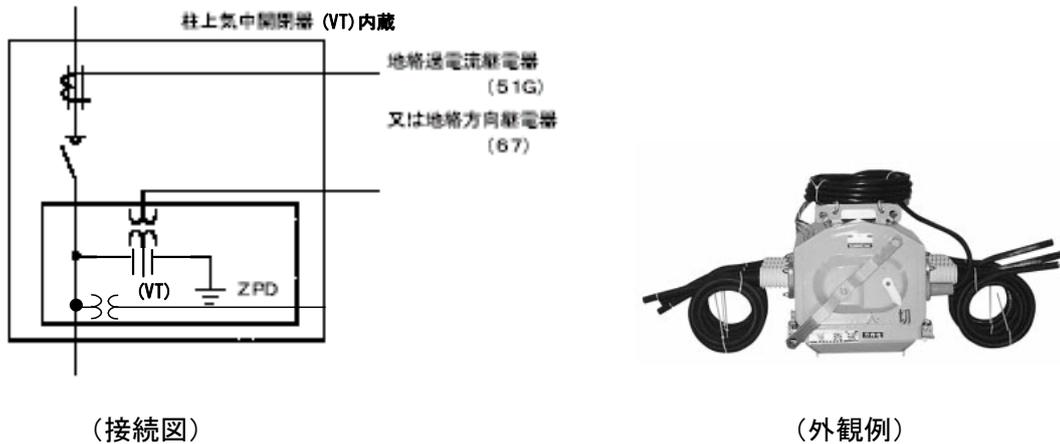


図 3.3-23 柱上気中開閉器

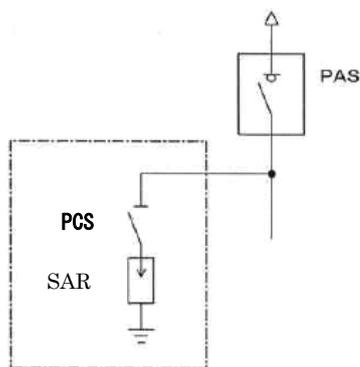
① 仕様選定の注意事項

- (ア) 耐塩じん汚損性能は設置場所が腐食性ガス環境や海岸線に近い場合に、耐重塩じん用(汚損性能 0.35 [mg/cm<sup>2</sup>])を適用し、それ以外の一般的な設置環境であれば、耐中塩じん用(汚損性能 0.12 [mg/cm<sup>2</sup>])を適用してきた。しかし、最近では耐重塩じん用の適用例が多いため、保守性も考慮し耐重塩じん用を標準とする。
- (イ) 定格電流は受電設備容量に適合したもので直近上位の標準定格を選定する。
- (ウ) 外箱の材質は鋼板製を標準とする。特に海岸線に近い場所に設置する場合には、ステンレス製を適用してもよいが、やや高価である。
- (エ) 地絡保護継電器は柱上気中開閉器の二次側電線路(6 [kV])のケーブル亘長(6 [kV]級高圧電動機があればそのケーブルも含む)の合計が表 2.7-2 に示す値以上であれば、地絡方向継電器を適用する。(2.7.1 項参照)  
これは、ケーブルの対地静電容量の増加によって、施設の外側で発生した地絡事故で地絡保護継電器が不要動作する(一般に“もらい事故”という)ことを防ぐために必要である。地絡方向継電器を適用する場合には柱上気中開閉器に零相蓄電器(ZPD)を内蔵する。
- (オ) 6 [kV] 級高圧電動機などの 6 [kV] 分岐回路を有する配電方式を選定した場合には、ケーブル亘長に関係なく多回路用の地絡方向継電器を選定する。
- (カ) 負荷側に避雷器を内蔵するタイプがあり、作業スペースがない箇所への適用や、接地作業の合理化を図ることができる。

(b) 避雷器 (SAR) 及びプライマリカットアウトスイッチ (PCS)

避雷器は電路内で発生したり電路外から侵入してくる異常電圧に対して回路に接続された電気機器を保護するために用いる。避雷器の取付場所は原則として引込柱上とするが受電設備が離れている場合には、途中の電線路から侵入する可能性もあるので引込柱のほかに高圧受電盤への取付けも検討する。なお、低圧受電における避雷対策は2.7.3項を参照すること。

プライマリカットアウトスイッチ (PCS) は、避雷器を柱上に設置した場合、その区分用として一次側に設けるもので、ヒューズ無しを使用する。



(接続図)



(外観例)

図 3.3-24 避雷器・プライマリカットアウトスイッチ

① 仕様選定の注意事項

(ア) 柱上に設置する場合、周囲が腐食性ガス環境であったり、海岸線の近くであるときには、耐汚損型を適用する。それ以外の一般的な場所では標準型を適用する。

(イ) 避雷器を高圧受電盤に収納する場合は3.3.4項(3)(d)による。

(c) 高圧引込盤

電力会社より高圧電源を引込むために設けるもので、盤内部に取引用計器用変成器 (VCT) と断路器 (DS) を一括して収納する場合に適用する。本盤は原則として高圧受電盤と組合わせて使用する。

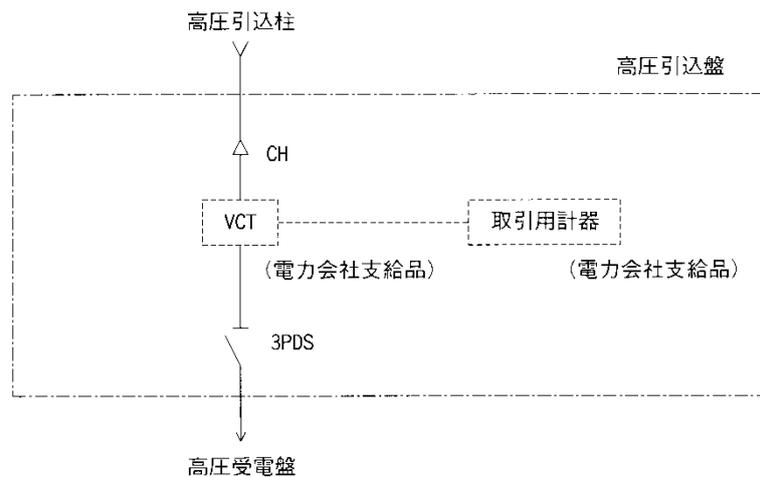


図 3.3-25 高圧引込盤接続図

① 仕様選定の注意事項

(ア) 高圧引込盤の寸法は電力会社の支給品である取引計器用変成器 (VCT) や、取引用計器の大きさによって決定するので、電力会社との協議が必要である(表 3.3-20 参照)。また、使用電力量の検針がしやすいように、取引用計器を盤に収納しないで、電気室や室外に設けることもあるので合わせて協議する必要がある。

(d) 高圧受電盤

高圧受電回路の開閉及び保護用として盤内に遮断器を設けるほか、受電状態の監視を行うために必要な計器を設けるもので、電力会社からの高圧受電用に適用する。本盤は高圧引込盤と合わせて使用する。



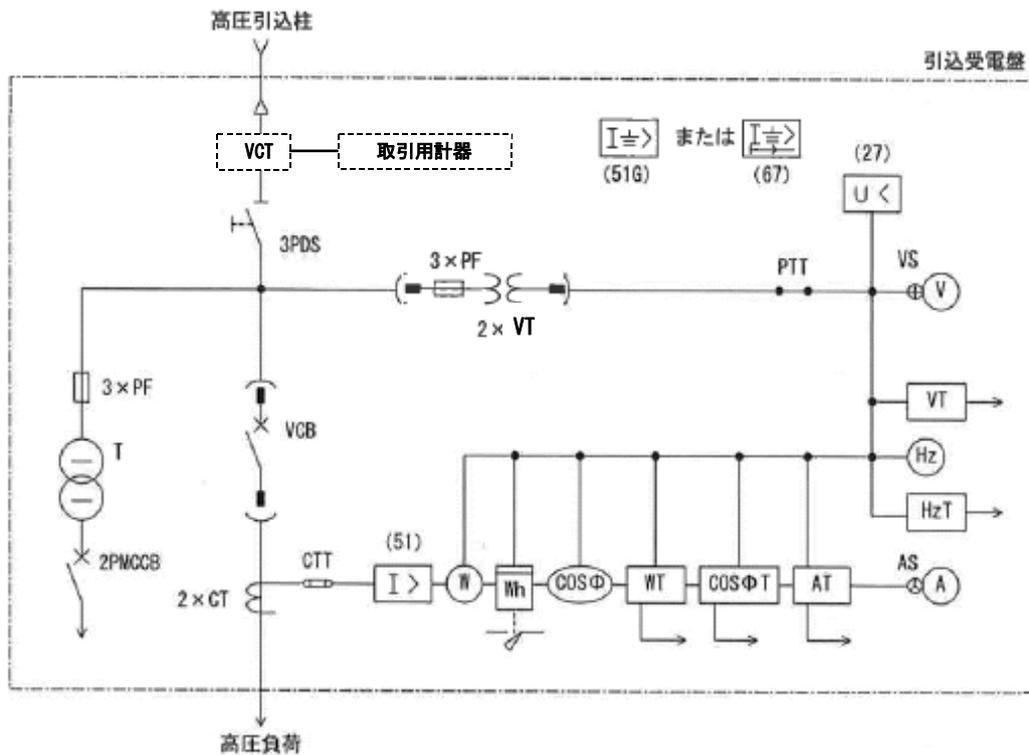


図 3.3-27 引込受電盤の接続図

① 仕様選定の注意事項

- (ア) 取引計器用変成器 (VCT) は、引込み柱取付けや、専用箱収納などを検討する。なお、電力会社から取引用計器の取付け申請を受けることもあるので協議すること。
- (イ) 3.3.4 項 (3) (a) 柱上気中開閉器の地絡保護継電器は本盤に取付ける。(51G 又は 67)
- (ウ) 避雷器 (SAR) の取付けは 3.3.4 項 (3) (b) による。
- (エ) 施設を遠方監視したり、日報作成装置を設置する場合には、電力量計 (パルス発信付)、電力用変換器 (電流、電圧、電力、力率、周波数) を取付ける。
- (オ) 盤寸法は表 3.3-20 による。

(f) 3kV 変圧器二次引込盤

高压 6 [kV] を受電し、6/3 [kV] 降圧変圧器で降圧した 3 [kV] の引込盤に適用する。



(4) 変圧器盤類

(a) 主変圧器盤 (6/3 [kV])

高圧 6.6kV を 3.15kV 又は 3.3kV に降圧する変圧器を収納する。変圧器容量 750kVA 以下に適用する。

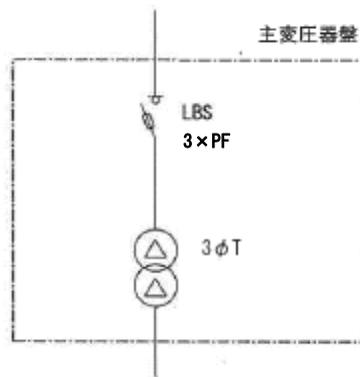


図 3.3-29 主変圧器盤 (6/3kV) の接続図

① 仕様選定の注意事項

- (ア) 負荷開閉器 (LBS) は、主変圧器以外に高圧の分岐回路がない場合には、受電遮断器で回路の開閉・遮断ができるので取付けなくてよい。
- (イ) 負荷開閉器 (LBS) を適用する場合の主変圧器容量は 500 [kVA] 以下とする。500kVA を超える場合には、真空遮断器を適用し、別盤を設けること。
- (ウ) この盤に収納する主変圧器容量は 750 [kVA] 以下 (モールド形) とする。750 [kVA] を超える場合は、単独設置の油入変圧器の適用も検討する。
- (エ) 主変圧器容量は、容量計算により求めた値の直近上位の値を標準容量 (kVA) より選定する。(表 3.2-4 単相、三相変圧器の標準容量を参照)
- (オ) 盤寸法は表 3.3-21 による。

(b) 主変圧器盤 (6/0.4 [kV])

高圧 6.6 [kV] を 420 [V] 又は 440 [V] に降圧する変圧器を収納する。変圧器容量 750 [kVA] 以下に適用する。

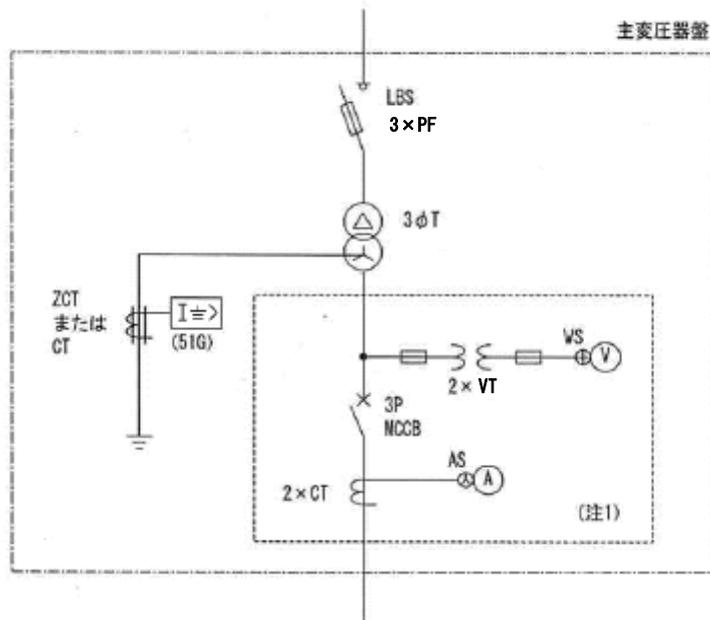


図 3.3-30 主変圧器盤 (6/0.4kV) の接続図

① 仕様選定の注意事項

- (ア) 負荷開閉器 (LBS) は、主変圧器以外に高圧の分岐回路がない場合には、受電遮断器で回路の開閉・遮断ができるので取付けなくてよい。
- (イ) 負荷開閉器 (LBS) を適用する場合の主変圧器容量は 500 [kVA] 以下とする。500 [kVA] を超える場合には、真空遮断器を適用し、別盤を設けること。
- (ウ) この盤に収納する主変圧器容量は 750 [kVA] 以下 (モールド形) とする。750 [kVA] を超える場合は、単独設置の油入変圧器の適用も検討する。
- (エ) 主変圧器容量は、容量計算により求めた値の直近上位の値を標準容量 (kVA) より選定する。(表 3.2-4 単相、三相変圧器の標準容量を参照)
- (オ) 全ての二次側分岐 MCCB 回路を収納した盤が列盤構成になっていない場合は、点検時の安全性向上のため二次主幹 MCCB (注 1) を設けてもよい。
- (カ) 主変圧器二次側 MCCB 回路 (注 1) は、変圧器容量 500 [kVA] 以下の場合に取付けが可能である。この場合、電流計、電圧計は主変圧器 100 [kVA] 以上に取付ける。
- (キ) 配線用遮断器 (MCCB) 、計器用変流器 (CT) の定格は主変圧器容量に適合したものを選定する。
- (ク) 盤寸法は表 3.3-21 による。

(c) 主変圧器盤 (6/0.2 [kV])

高圧 6.6 [kV] を 210 [V] に降圧する変圧器を収納する。変圧器容量 500 [kVA] 以下に適用する。

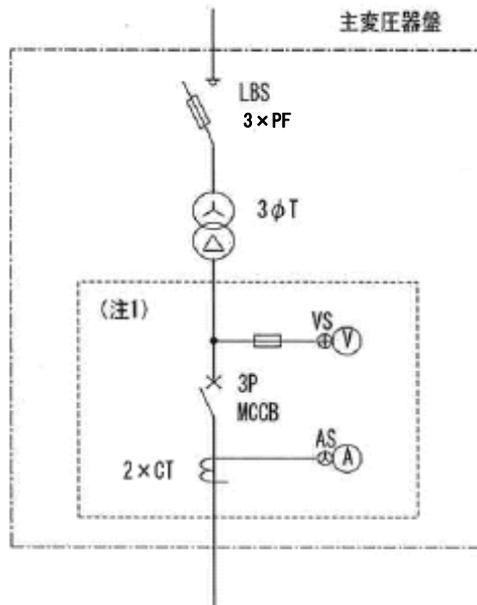


図 3.3-31 主変圧器盤 (6/0.2kV) の接続図

① 仕様選定の注意事項

- (ア) 負荷開閉器 (LBS) は、主変圧器以外に高圧の分岐回路がない場合には、受電遮断器で回路の開閉・遮断ができるので取付けなくてよい。
- (イ) この盤に収納する主変圧器容量は 500 [kVA] 以下 (モールド形) とする。500 [kVA] を超える場合は、二次電圧 400 [V] とし、(b)主変圧器盤 (6/0.4 [kV]) を適用すること。
- (ウ) 主変圧器容量は、容量計算により求めた値の直近上位の値を標準容量 (kVA) より選定する。(表 3.2-4 単相、三相変圧器の標準容量を参照)
- (エ) 全ての二次側分岐 MCCB 回路を収納した盤が列盤構成になっていない場合は、点検時の安全性向上のため二次主幹 MCCB (注 1) を設けてもよい。
- (オ) 主変圧器二次 MCCB 回路 (注 1) は、必要に応じて取付けのこと。この場合、電流計、電圧計は主変圧器 100 [kVA] 以上に取付ける。
- (カ) 配線用遮断器 (MCCB) 、計器用変流器 (CT) の定格は変圧器容量に適合したものを選定する。
- (キ) 盤寸法は表 3.3-21 による。

(d) 補機用変圧器盤

高圧三相 6.6 [kV] 又は 3.3 [kV] 回路より補機電源（三相 210 [V]）を供給するための高圧変圧器を収納する。

変圧器容量 50 [kVA] 以下に適用する。

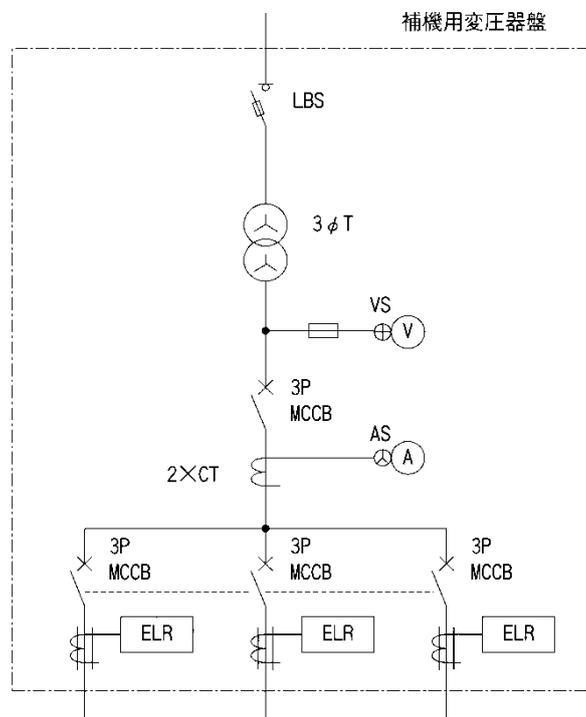


図 3.3-32 補機用変圧器盤の接続図

①仕様選定の注意事項

(ア) この盤に収納する補機用変圧器容量は 50 [kVA] 以下とする。また、容量計算により求めた値の直近上位の値を標準容量 (kVA) より選定する。(表 3.2-4 単相、三相変圧器の標準容量を参照)

(イ) 配線用遮断器 (MCCB)、計器用変流器 (CT) の定格は変圧器、又は負荷容量に適合したものを選定する。

(ウ) 盤寸法は表 3.3-22 による。

(e) 照明変圧器盤（一次 400 [V]）

低圧単相 420 [V] 又は 440 [V] 回路より照明電源（単相 210-105 [V]）を供給するための単相変圧器を収納する。

変圧器容量 50 [kVA] 以下に適用する。

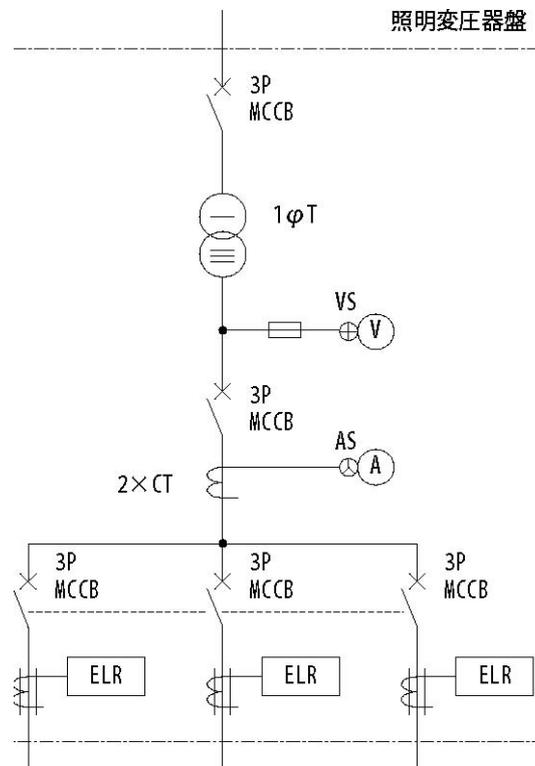


図 3.3-33 照明変圧器盤（一次 400V）の接続図

① 仕様選定の注意事項

- (ア) この盤に収納する照明用変圧器容量は 50 [kVA] 以下とする。また、容量計算により求めた値の直近上位の値を標準容量 [kVA] より選定する。（表 3.2-4 単相、三相変圧器の標準容量を参照）
- (イ) 配線用遮断器（MCCB）、計器用変流器（CT）の定格は変圧器、又は負荷容量に適合したものを選定する。
- (ウ) 盤寸法は表 3.3-22 による。

(f) 照明用スコット変圧器盤（一次 400 [V]）

低圧三相 420 [V] 又は 440 [V] より照明電源（単相 210-105 [V]） を供給するスコット変圧器を収納する。

変圧器容量 50 [kVA] 以下に適用する。

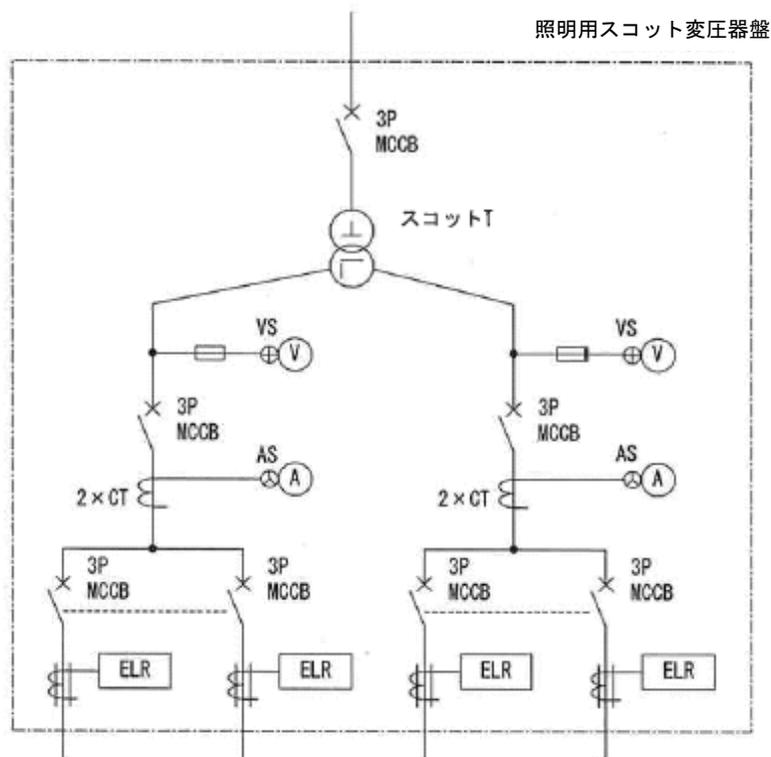


図 3.3-34 照明用スコット変圧器盤（一次 400V）の接続図

① 仕様選定の注意事項

- (ア) この盤に収納する照明用スコット変圧器容量は 50 [kVA] 以下とする。また、容量計算により求めた値の直近上位の値を標準容量 [kVA] より選定する。（表 3.2-4 単相、三相変圧器の標準容量を参照）
- (イ) 配線用遮断器（MCCB）、計器用変流器（CT）の定格は変圧器又は負荷容量に適合したものを選定する。
- (ウ) 盤寸法は表 3.3-22 による。

(g) 照明変圧器盤（一次 200 [V]）

低圧単相 210 [V] 回路より照明電源（単相 210-105 [V]）を供給するための単相変圧器を収納する。

変圧器容量 50 [kVA] 以下に適用する。

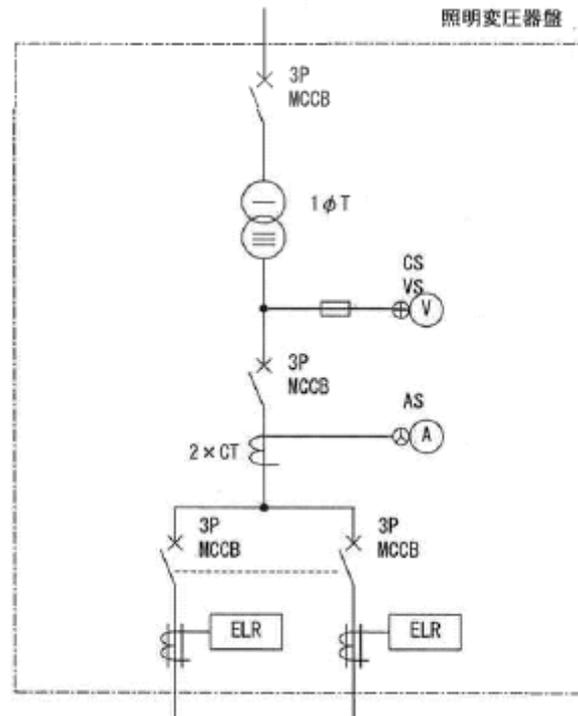


図 3.3-35 照明変圧器盤（一次 200V）の接続図

① 仕様選定の注意事項

(ア) この盤に収納する照明用単相変圧器容量は 50 [kVA] 以下とする。また、容量計算により求めた値の直近上位の値を標準容量 [kVA] より選定する。(表 3.2-4 単相、三相変圧器の標準容量を参照)

(イ) 配線用遮断器 (MCCB) 、計器用変流器 (CT) の定格は変圧器又は負荷容量に適合したものを選定する。

(ウ) 盤寸法は表 3.3-22 による。

(h) 照明用スコット変圧器盤（一次 200 [V]）

低圧三相 210 [V] 回路より照明電源（単相 210-105 [V]）を供給するためのスコット変圧器を収納する。

変圧器容量を 50 [kVA] 以下に適用する。

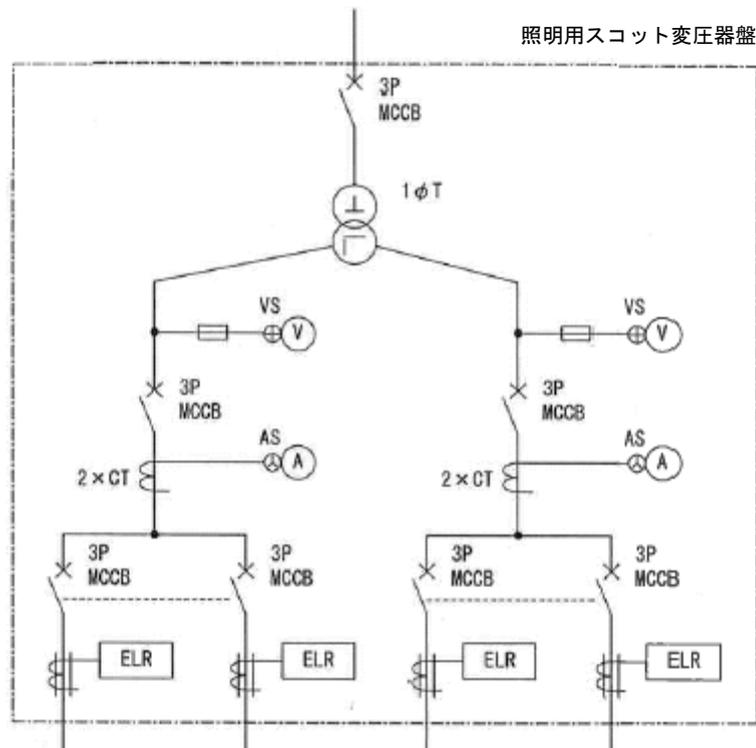


図 3.3-36 照明用スコット変圧器盤（一次 200V）の接続図

① 仕様選定の注意事項

(ア) この盤に収納する照明用スコット変圧器容量は 50 [kVA] 以下とする。また、容量計算により求めた値の直近上位の値を標準容量 [kVA] より選定する。（表 3.2-4 単相、三相変圧器の標準容量を参照）

(イ) 配線用遮断器 (MCCB) 、計器用変流器 (CT) の定格は変圧器又は負荷容量に適合したものを選定する。

(ウ) 盤寸法は表 3.3-22 による。

(i) 照明変圧器盤（一次 6 [kV] 又は 3 [kV]）

高圧 6.6 [kV] 又は 3.3 [kV] 回路より照明電源（単相 210-105 [V]）を供給するための高圧単相変圧器を収納する。

変圧器容量 50 [kVA] 以下に適用する。

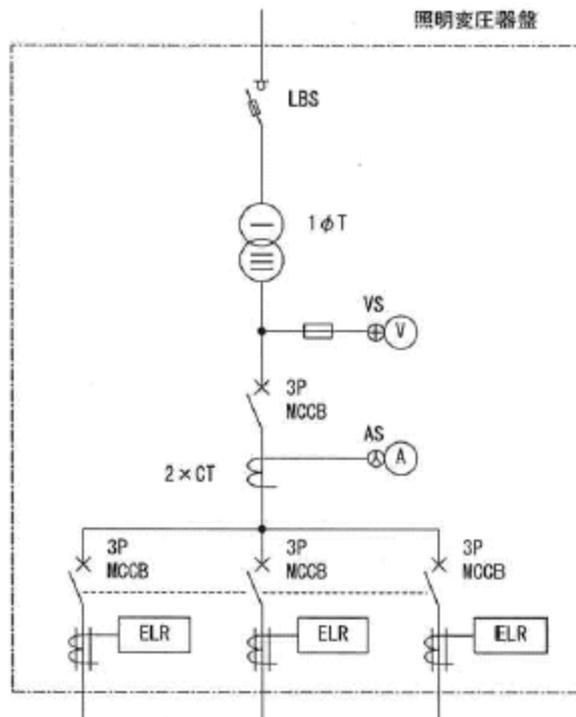


図 3.3-37 照明変圧器盤（一次 6kV 又は 3kV）の接続図

① 仕様選定の注意事項

(ア) この盤に収納する照明用単相変圧器容量は 50 [kVA] 以下とする。また、容量計算により求めた値の直近上位の値を標準容量 [kVA] より選定する。(表 3.2-4 単相、三相変圧器の標準容量を参照)

(イ) 配線用遮断器 (MCCB)、計器用変流器 (CT) の定格は変圧器又は負荷容量に適合したものを選定する。

(ウ) 盤寸法は表 3.3-22 による。

(j) 補機・照明変圧器盤（一次 400 [V]、三相及び単相変圧器）

低圧三相 420 [V] 又は 440 [V] 回路より補機電源（三相 210 [V]）及び照明電源（単相 210－105 [V]）を供給するための変圧器 2 台を収納する。変圧器容量は、補機電源回路で 50 [kVA] 以下、照明電源回路で 30 [kVA] 以下を適用する。

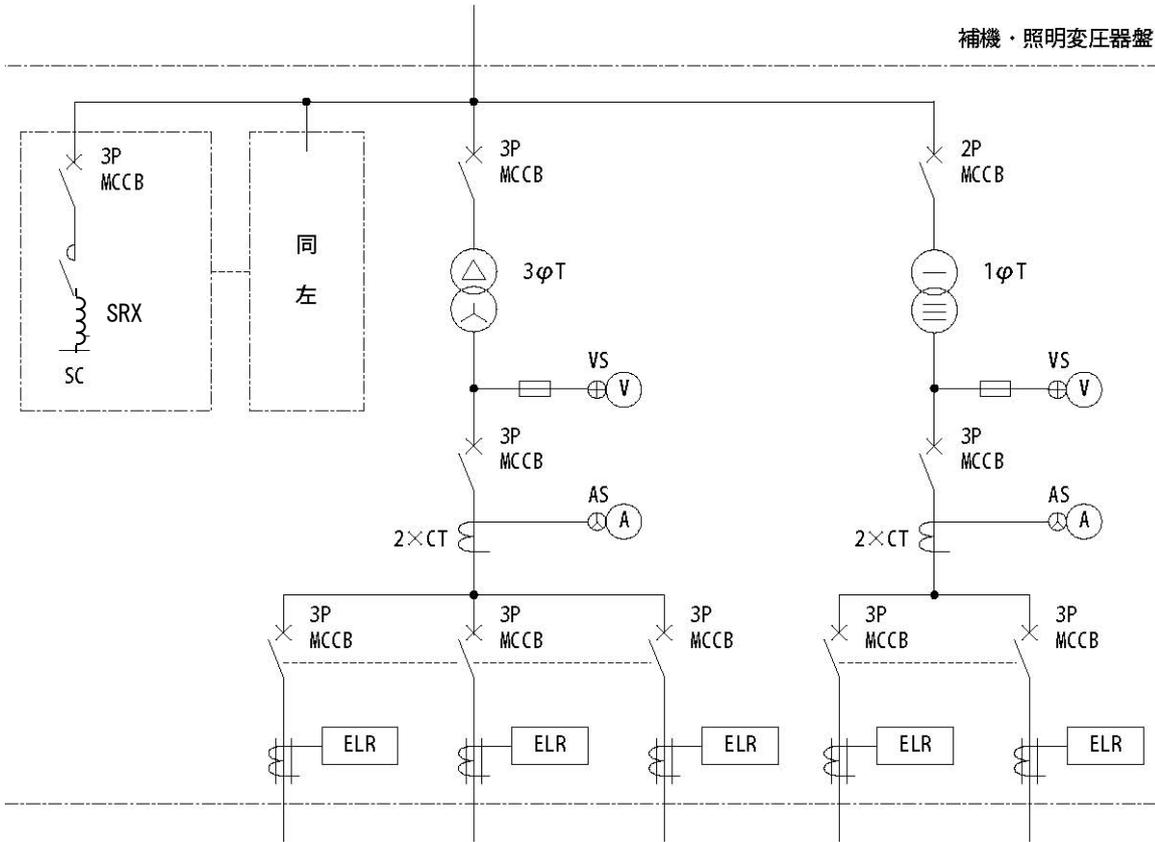


図 3.3-38 補機・照明変圧器盤（一次 400V、三相及び単相変圧器）の接続図

① 仕様選定の注意事項

- (ア) 収納する補機用三相変圧器容量は 50 [kVA] 以下、照明用単相変圧器容量は 30 [kVA] 以下とする。また、容量計算により求めた値の直近上位の値を標準容量 [kVA] より選定する。（表 3.2-4 単相、三相変圧器の標準容量を参照）
- (イ) 配線用遮断器（MCCB）、電磁接触器（MC）、進相コンデンサ（SC）、計器用変流器（CT）の定格は変圧器又は負荷容量に適合したものを選定する。

### 第3章 機器の選定

- (ウ) 進相コンデンサ回路（注 1）は、低圧主回路母線で変圧器励磁電流補償及び低圧負荷の力率改善を一括で行う場合に適用する。適用に当たっては、必要な進相コンデンサ容量を算出した上で負荷運転状況を想定し、その進相コンデンサ容量を2～3バンクに分割して設置する。
- (エ) 盤寸法は表 3.3-23 による。
- (オ) 低圧進相コンデンサ標準定格は表 3.3-12 を参照のこと。

表 3.3-12 低圧進相コンデンサ標準定格

(JIS C 4901(2013)抜粋)

回路 電圧 V	定格 電圧 V	定格 周波数 Hz	相数	定格設備容量及び定格容量（注） kvar					
				定格設備容量	10/12	15/18	20/24	25/30	30/36
440	468	50/60 共用	三相	定格設備容量	10.6/12.8	16.0/19.1	21.3/25.5	26.6/31.9	31.9/38.3
				定格容量	10.6	16.0	21.3	26.6	31.9
		50又は60		定格設備容量	50	75	100	150	—
				定格容量	53.2	79.8	106	160	—

（注） 定格設備容量及び定格容量の 10.6/12.8などは、10.6kvar(50Hz)/12.8kvar(60Hz)のように50Hz及び60Hzでの定格を表す。

(k) 補機・照明変圧器盤（一次 400 [V]、三相及びスコット変圧器）

低圧三相 420 [V] 又は 440 [V] 回路より補機電源（三相 210 [V]）及び照明電源（単相 210-105 [V]）を供給するための三相変圧器及びスコット変圧器を収納する。

変圧器容量は補機電源回路 50 [kVA] 以下、照明電源回路 30 [kVA] 以下に適用する。

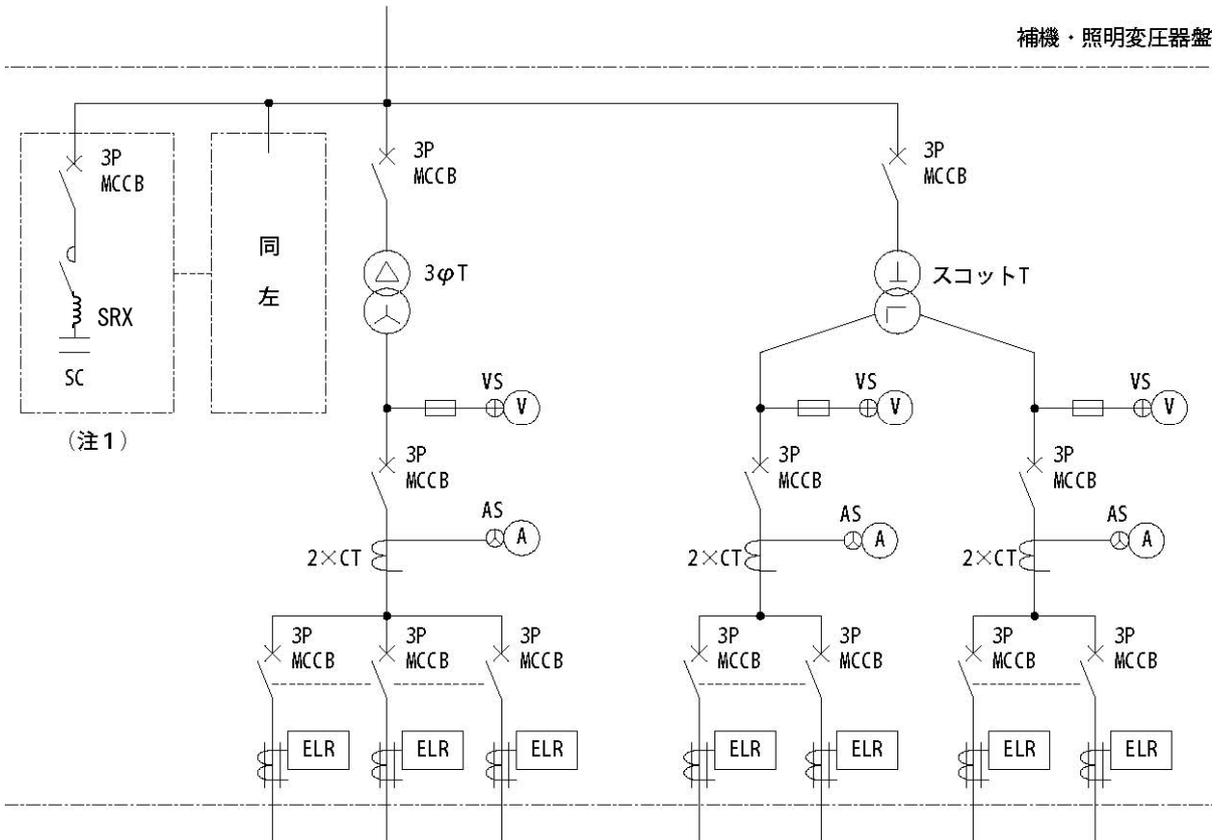


図 3.3-39 補機・照明変圧器（一次 400V、三相及びスコット変圧器）の接続図

① 仕様選定の注意事項

(ア) 収納する補機用三相変圧器容量は 50 [kVA] 以下、照明用スコット変圧器容量は 30 [kVA] 以下とする。また、容量計算により求めた値の直近上位の値を標準容量 [kVA] より選定する。（表 3.2-4 単相、三相変圧器の標準容量を参照）

(イ) 配線用遮断器 (MCCB)、電磁接触器 (MC)、進相コンデンサ (SC)、計器用変流器 (CT) の定格は変圧器又は負荷容量に適合したものを選定する。

(ウ) 進相用コンデンサ回路（注 1）は、低圧主回路母線で変圧器励磁電流補償及び低圧負荷の力率改善を一括で行う場合に適用する。適用に当たっては、必要な進相コンデンサ容量を算出した上で負荷運転状況を想定し、その進相コンデンサ容量を 2~3 バンクに分割して設置する。

(エ) 盤寸法は表 3.3-23 による。

(オ) 低圧進相コンデンサ標準定格は表 3.3-12 を参照のこと。

(5) 高圧動力盤類

(a) 高圧電動機盤（かご形用）

高圧電動機の一次開閉及び保護用として高圧コンビネーションスタータを設け、また、電動機運転状況の把握を行うために必要な計器を設けた高圧電動機盤として適用する。なお、高圧電動機盤からの通常の操作はせず、試験操作のみ行えるものとする。

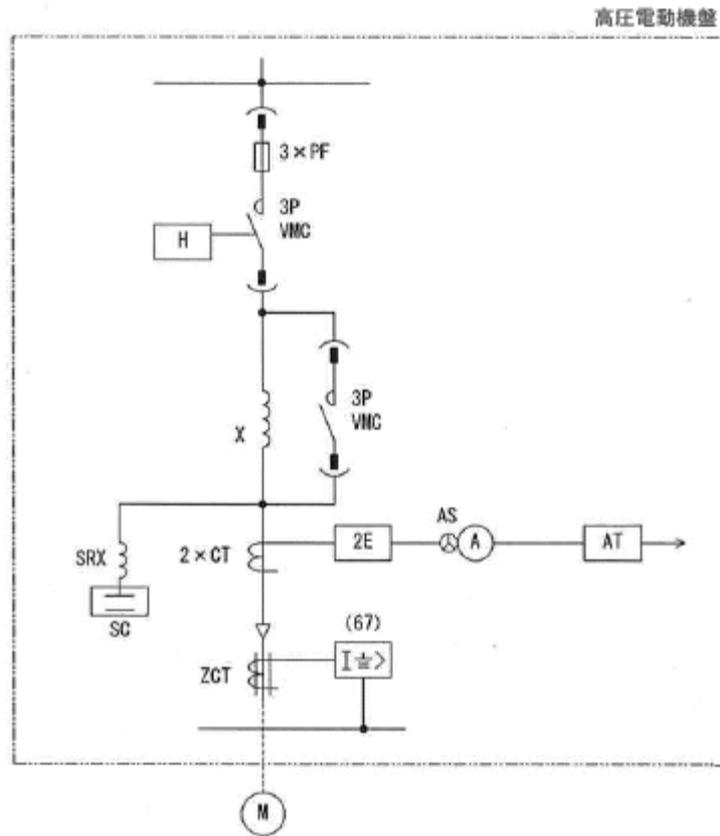


図 3.3-40 高圧電動機盤（かご形用）の接続図

① 仕様選定の注意事項

- (ア) 定格使用電圧／絶縁階級は 6.6 [kV] / 6号B 又は 3.3 [kV] / 3号B のいずれかを配電電圧に合わせて選定する。
- (イ) 高圧真空電磁接触器 (VMC)、電力ヒューズ (PF)、始動用リアクトル (X)、直列リアクトル (SRX)、進相コンデンサ (SC)、計器用変流器 (CT) の定格は、電動機容量に適合したものを選定する。
- (ウ) 電動機容量が 3 [kV] で 1,400 [kW] 程度以上、6 [kV] で 2,500 [kW] 程度以上の場合、電動機定格電流が 400 [A] を超えるため、高圧コンビネーションスタータは適用しないこと。

- (エ) 地絡方向継電器の零相電圧は、柱上気中開閉器 (PAS) に内蔵した零相蓄電器 (ZPD) 又は高圧母線に設ける接地形計器用変圧器 (EVT) から供給される。(EVT は 6kV 受電、6 [kV] 配電では使用しないこと。)
- (オ) 電動機容量が 1,000 [kW] 程度以上の場合、高圧進相コンデンサ及び直列リアクトルは、高圧電動機盤とは別の盤を設けて収納する。
- (カ) 直列リアクトルは、高圧進相コンデンサ容量が 100 [kVA] 以上の場合に取付けることとし、高調波による影響がある場合は 100 [kVA] 未満でも取付けを検討する。
- (キ) 盤寸法の目安は 0.9 W×2.3 H×2.0 D/1 面 (単位:m) 程度とする。

(b) 高圧電動機盤 (巻線形用)

高圧電動機の一次開閉及び保護用として高圧コンビネーションスタータを設け、また、電動機運転状況の把握を行うために、必要な計器を設けた高圧電動機盤として適用する。高圧電動機盤からの通常の操作はしないものとし、試験操作のみ行えるものとする。

なお、電動機容量により 2 回路用 (2 段積) か、1 回路用 (1 段積) かを選定する。

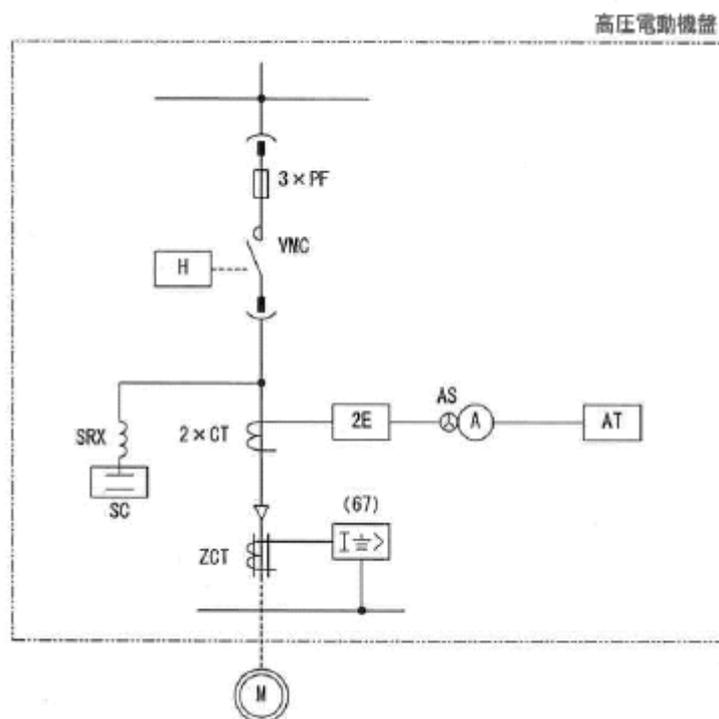


図 3.3-41 高圧電動機盤 (巻線形用) の接続図

### 第3章 機器の選定

#### ①仕様選定の注意事項

- (ア) 定格使用電圧／絶縁階級は、6.6 [kV] ／6号B 又は 3.3 [kV] ／3号B のいずれかを配電電圧に合わせて選定する。
- (イ) 高圧真空電磁接触器 (VMC) 、電力ヒューズ (PF) 、直列リアクトル (SRX) 、進相コンデンサ (SC) 、計器用変流器 (CT) の定格は、電動機容量に適合したものを選定する。
- (ウ) 電動機容量が 200 [kW] 以下の場合は1面に2回路分を収納できる。(2台とも 200 [kW] 以下のとき)、電動機容量が 200 [kW] を超える場合は1回路用 (1段積) とする。
- (エ) 電動機容量が 3 [kV] で 1,400 [kW] 程度以上、6 [kV] で 2,500 [kW] 程度以上の場合、電動機定格電流が 400 [A] を超えるため、高圧コンビネーションスタータは適用しないこと。
- (オ) 零相電圧は、柱上気中開閉器 (PAS) に内蔵した零相蓄電器 (ZPD) 又は高圧母線に設ける接地形計器用変圧器 (EVT) から供給される。(EVT は 6 [kV] 受電、6 [kV] 配電では使用しないこと。)
- (カ) 電動機容量が 1,000 [kW] 程度以上の場合、高圧進相コンデンサ及び直列リアクトルは、高圧電動機盤とは別の盤を設けて収納する。
- (キ) 高圧進相コンデンサの設置に当たっては、直列リアクトルを付属しない場合、配電系統の電圧ひずみ増大の大きな要因となることから、直列リアクトルの取付けを原則とする。  
(JIS C-4902-1:2010 解説参照)
- (ク) 盤寸法の目安は 0.9 W×2.3 H×2.0 D/1面 (単位:m) 程度とする。

(6) 低圧盤類

(a) 低圧分岐盤

変圧器盤内に配線用遮断器を収納できない場合、変圧器二次側の配線用遮断器を収納する。

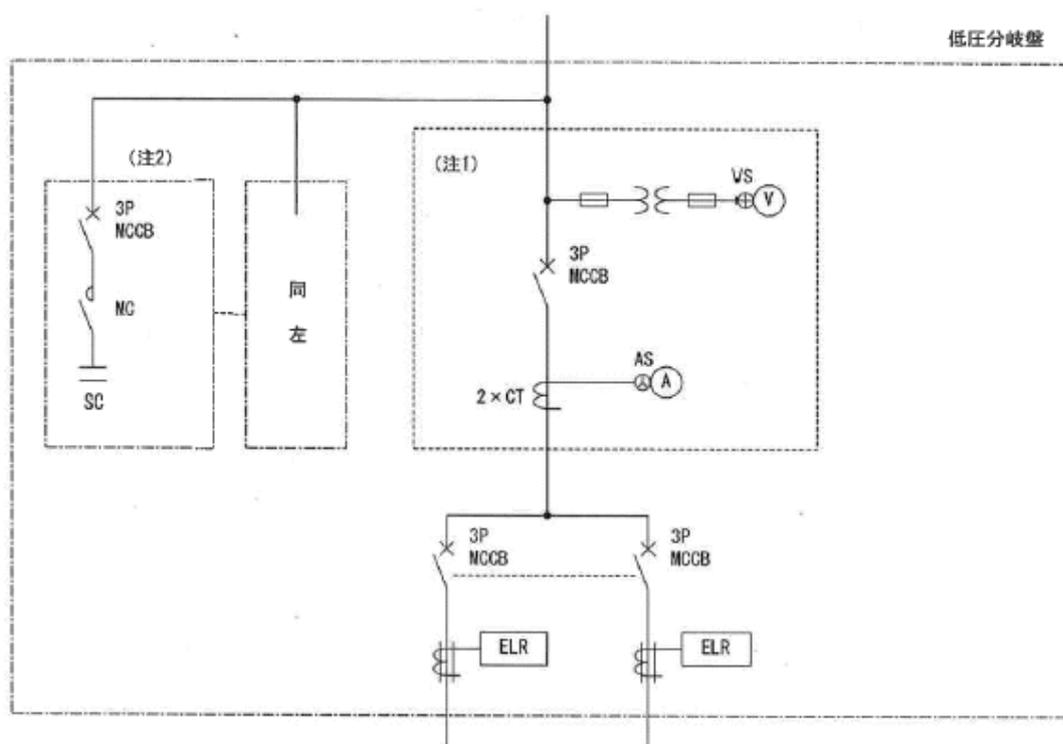


図 3.3-42 低圧分岐盤の接続図

① 仕様選定の注意事項

- (ア) 定格使用電圧は 220 [V] 又は 460 [V] のいずれかを配電電圧に合わせて選定する。
- (イ) 配線用遮断器 (MCCB)、電磁接触器 (MC)、計器用変流器 (CT)、進相コンデンサ (SC) の定格は負荷容量に適合したものを選定する。
- (ウ) 変圧器二次主幹回路 (注 1) は、変圧器二次主幹配線用遮断器が必要でかつ主変圧器盤に収納できない場合にこの盤に追加する。
- (エ) 進相コンデンサ回路 (注 2) は、低圧主回路母線で変圧器励磁電流補償及び低圧負荷の力率改善を一括で行う場合に適用する。適用に当たっては、必要な合計進相用コンデンサ容量を算出した上で負荷運転状況を想定し、その進相コンデンサ容量を 2~3 バンクに分割して設置する。

(b) 自家発切替盤

低圧負荷及び照明等、停電時でも非常用発電装置（自家発）の電源を供給するために設けるもので、商用電源と非常用発電装置電源との切替、及び負荷の分岐を行う場合に適用する。

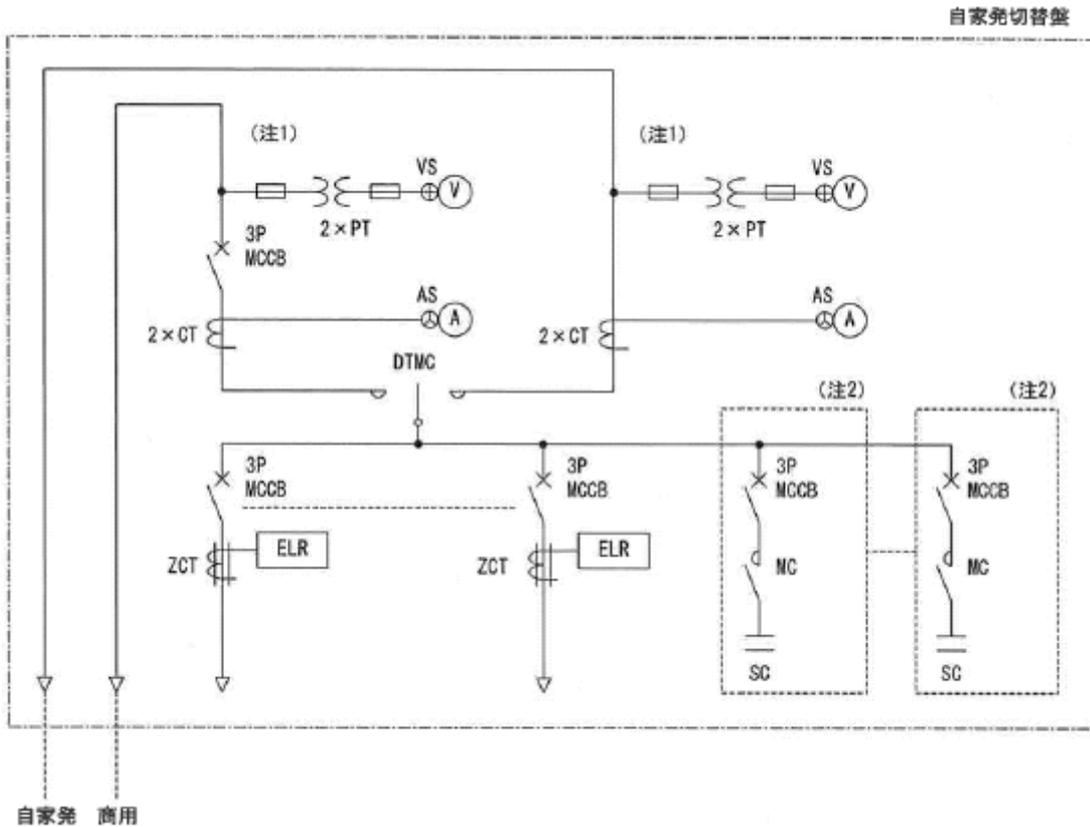


図 3.3-43 自家発切替盤の接続図

① 仕様選定の注意事項

- (ア) 定格使用電圧は、220 [V] 又は 460 [V] のいずれかを配電電圧に合わせて選定する。
- (イ) 配線用遮断器 (MCCB)、双投電磁接触器 (DTMC)、電磁接触器 (MC)、進相コンデンサ (SC)、計器用変流器 (CT) の定格は負荷容量に適合したものを選定する。
- (ウ) 回路電圧が 400 [V] 級の場合双投電磁接触器 (DTMC) の操作電源用変圧器を双投電磁接触器 (DTMC) の商用側及び自家発側にそれぞれ付属すること。
- (エ) 回路電圧が 400 [V] 級の場合、電源電圧管理のために計器用変圧器 (VT) を追加する。  
(注 1)
- (オ) 低圧主回路母線で変圧器励磁電流補償及び低圧負荷の力率改善を一括に行う場合には、(注 2) の進相コンデンサ回路を追加する。



(d) 低圧小型ポンプ盤

電力会社から低圧電源を引き込み、22 [kW] 以下の低圧主ポンプ電動機の一次開閉及び保護用として設ける低圧電動機盤として適用する。主ポンプ用の単独及び連動制御回路を盤内に含むものとする。ポンプ室又は電気室に設置し、通常主ポンプ2台分を1面に収納する。

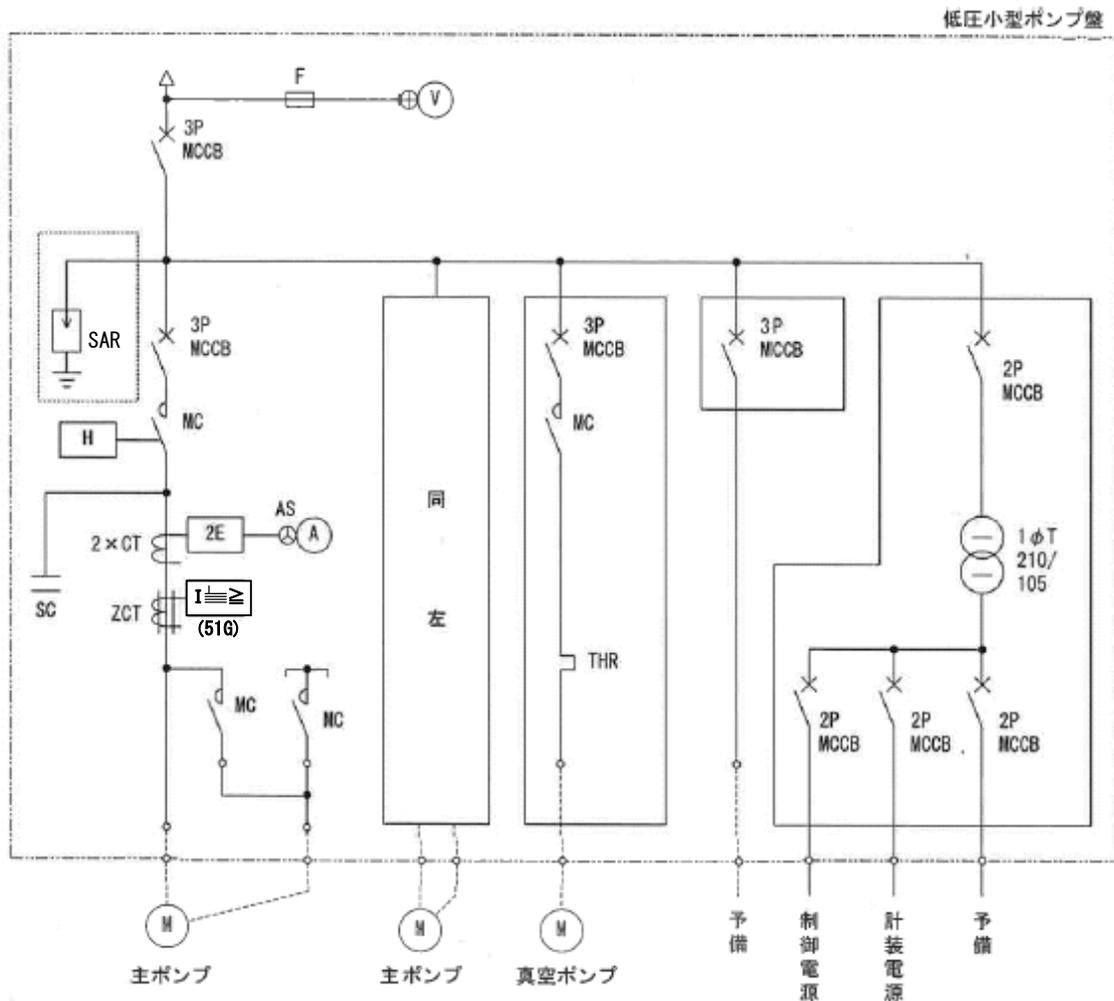


図 3.3-45 低圧小型ポンプ盤の接続図

① 仕様選定の注意事項

- (ア) 配線用遮断器 (MCCB)、電磁接触器 (MC)、進相コンデンサ (SC)、計器用変流器 (CT) の定格は、負荷の電動機容量に適合したものを選定する。
- (イ) 単相乾式変圧器 (T) は、必要な制御電源及び計装電源の容量より、1 [kVA]、2 [kVA]、3 [kVA] の中から選定する。
- (ウ) 避雷器 (SAR) は必要に応じて取付ける。

(e) 低圧補機電動機盤（低圧受電盤としても適用可）

低圧の補機電動機を機側で制御をするための主回路用品及び制御回路用品を収納し、更に必要な計器、スイッチ、表示器等を設けた低圧補機電動機盤として適用する。

また、非常用発電装置を有しない低圧受電用として主回路用品及び必要な計器、表示器等を設けた低圧受電盤としても適用する(図 3.3-21 参照)。なお、分岐回路の機器数量は、負荷制御一覧表から決定する。

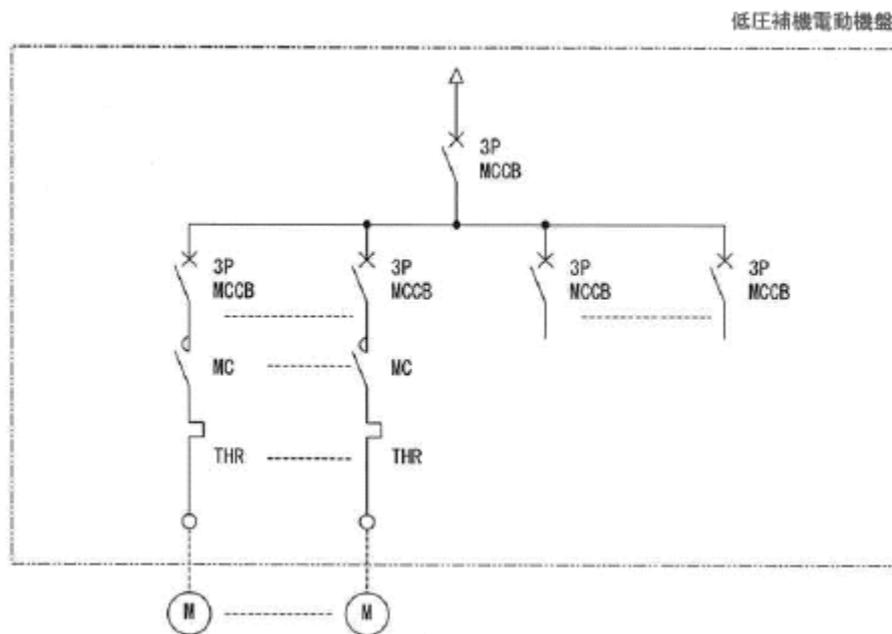


図 3.3-46 低圧補機電動機盤の接続図

① 仕様選定の注意事項

- (ア) 定格使用電圧は、220 [V] 又は 460 [V] のいずれかを配電電圧に合わせて選定する。
- (イ) 分岐回路の機器数量は、表 3.3-15 に示す負荷制御一覧表から決定する。
- (ウ) 1面に収納可能な補機回路数は概略次を目安とする。

収納回路及び用品	収納可能補機回路数
補機回路のみ	最大 14 回路
補機回路と補助継電器	最大 7 回路

備考 補機回路には電源送り回路も含む。

表 3.3-15 負荷制御一覧表

負荷名称	容量 (kW)	回路記号	台数	操作場所		制御方式			付属品				備考	
				機側	中央	単独	連動	自動	A	ELR	SC	H		

凡例 A: 電流計  
 ELR: 漏電リレー (ZCT付)  
 SC: 進相コンデンサ  
 H: 運転時間計

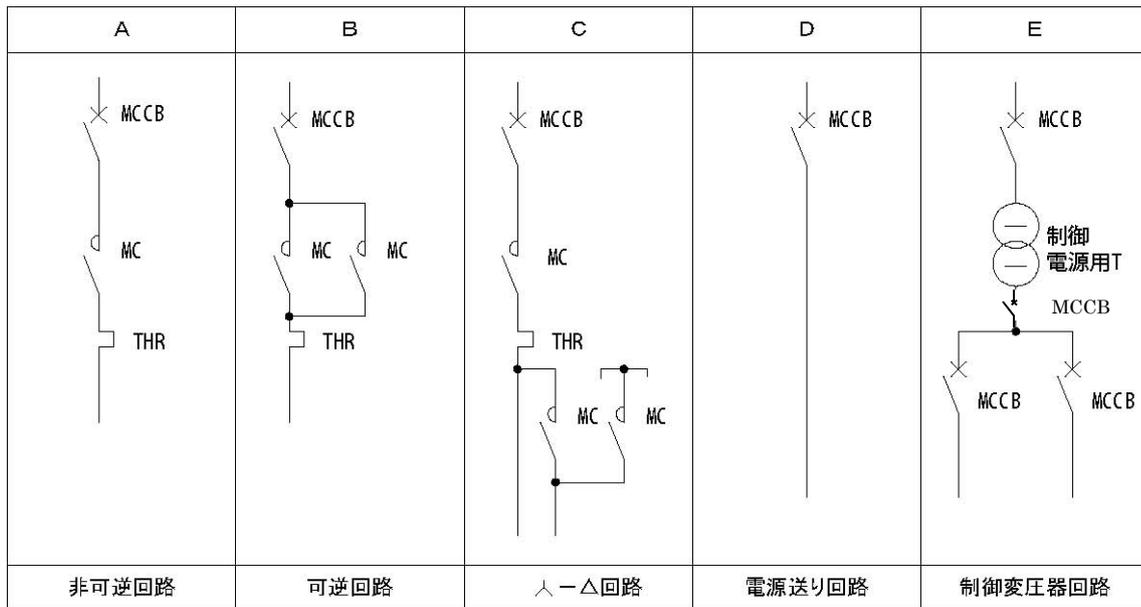


図 3.3-47 回路記号

(f) コントロールセンタ

本設備は、受変電設備より供給された低圧電源を各負荷に給電するとともに運転制御を行うものである。なお適用の考え方は、図 3.3-21 を参照のこと。

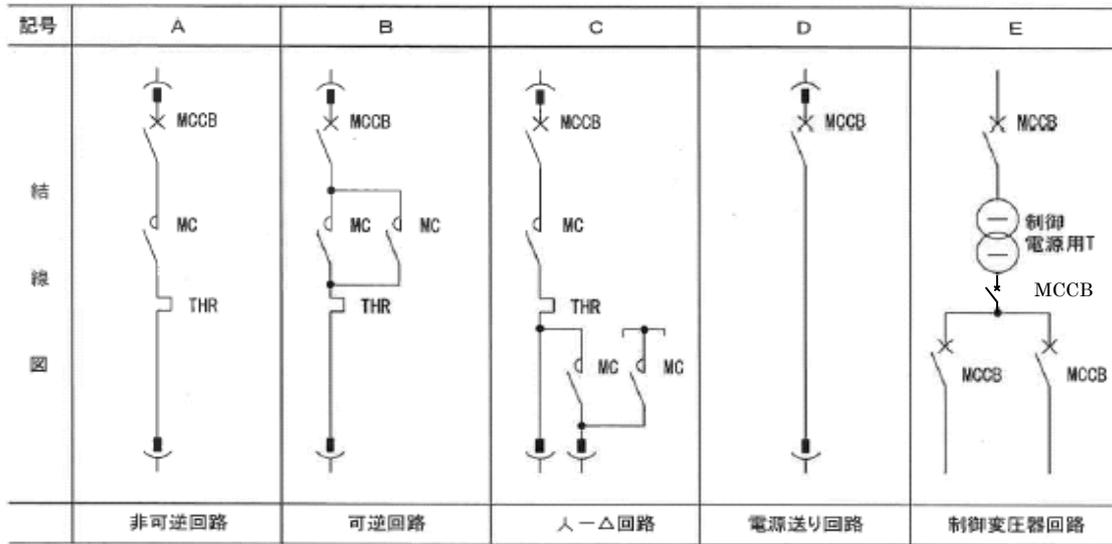


図 3.3-48 ユニット基本構成機器

① 仕様選定の注意事項

- (ア) コントロールセンタの形式には片面形と両面形とがあるので、ユニット数及び保守スペース等を考慮して選定する。
- (イ) 表 3.3-15 負荷制御一覧表を作成し、適合する回路構成を図 3.3-48 から選定して記入する。
- (ウ) コントロールセンタの 1 面当りの標準積段数は最小ユニットサイズで片面形 7 段、両面形 14 段とする。
- (エ) 表 3.3-16、3.3-17、3.3-18、3.3-19 を参考にコントロールセンタの段積みを決定する。

表 3.3-16 コントロールセンタのユニットサイズ（負荷設備用）（参考）

出力	回路		非可逆 (A)		可逆 (B)		スター・デルタ (C)	
	200V	400V	200V	400V	200V	400V	200V	400V
3.7kW 以下			1					
5.5kW 以下	1		1.5	1	2			
7.5kW 以下		1						2
11kW 以下	1.5		2	1.5	2.5			
15kW 以下								
18.5kW 以下	2		2.5	2	3			
22kW 以下		1.5			3.5			2.5
30kW 以下	3				4			
37kW 以下		2		2.5	4.5			3

注) 上記のユニットサイズはユニットの基本構成 (図 3.3-48) に、計器用変流器 (CT) と漏電リレー (ZCT+ELR) を追加した回路を基準にしている。

表 3.3-17 コントロールセンタのユニットサイズ（制御変圧器）（参考）

容 量	ユニット段数(記号 : E)
1kVA 以下	2
2kVA	2.5
3kVA	3

表 3.3-18 コントロールセンタのユニットサイズ（電源送り）（参考）

容 量	ユニット段数(記号 : D)	
	標準回路	漏電リレー付
100AF	1	2
225AF	2	3

表 3.3-19 コントロールセンタのユニットサイズ（進相コンデンサ）（参考）

ユニット数 適用電動機	200V回路		400V回路	
	容量 (μF)	ユニット段数/ 個数	容量 (μF)	ユニット段数/ 個数
2.2kW 以下	50	1/3	—	1/3
3.7kW 以下	75		20	
5.5kW 以下	100		25	
7.5kW 以下	150	1.5/2	40	1.5/3
11kW 以下	200		50	
15kW 以下	250		—	1.5/2
18.5kW 以下	300		75	
22kW 以下	400	2/1	100	2/1
30kW 以下	500		125	
37kW 以下	600		150	

負荷と同一コントロールセンタに収納すること。

(g) 低圧受電盤

電力会社から低圧電源を引込むために設ける。非常用発電装置との切替器を設け、また、受電状況の把握を行うために必要な計器を設けた低圧受電盤に適用する。

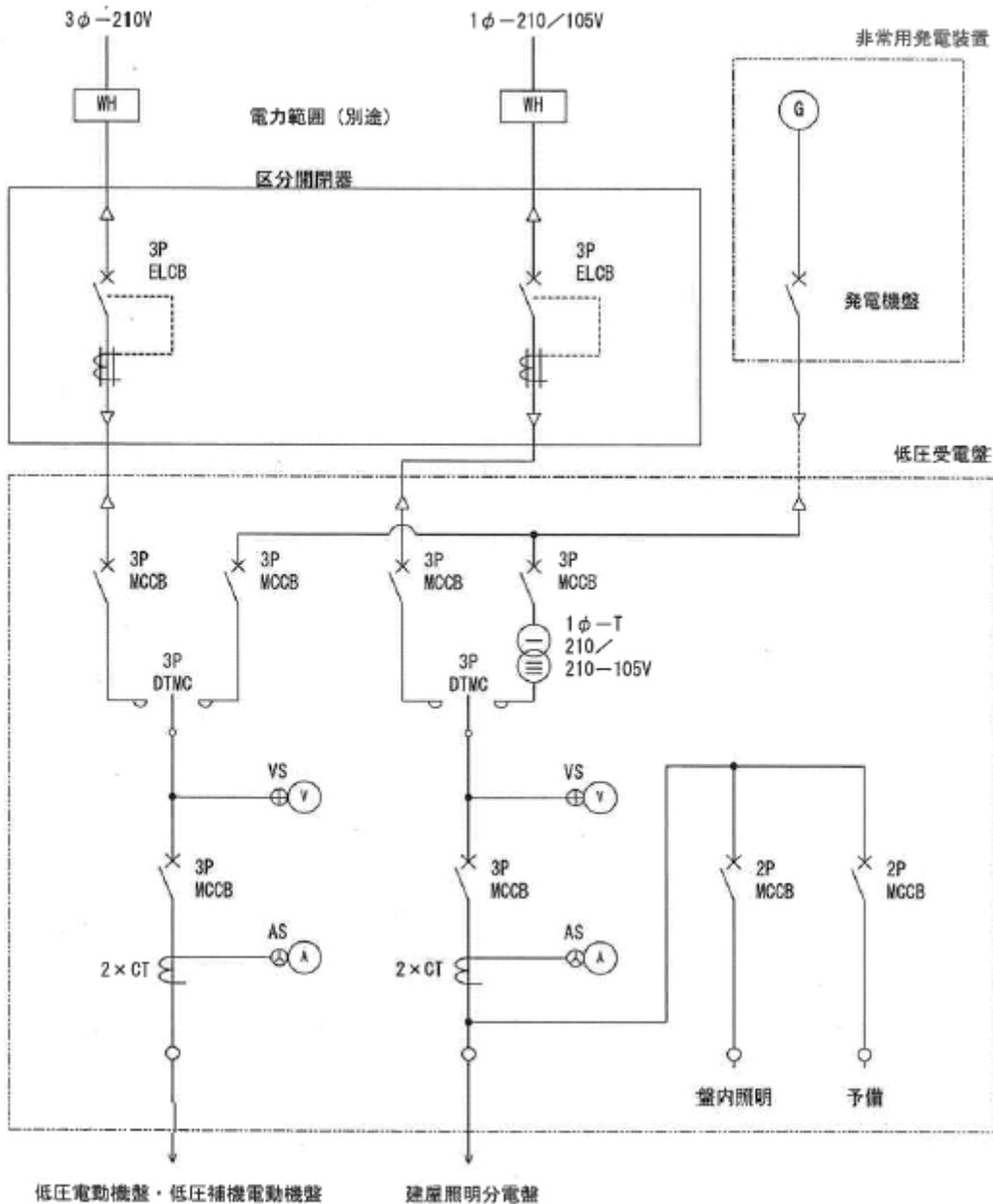


図 3.3-49 低圧受電盤の接続図

① 仕様選定の注意事項

- (ア) 配線用遮断器 (MCCB)、双投電磁接触器 (DTMC) の定格は通電容量に適合したものを選定する。
- (イ) 単相乾式変圧器の容量は、1 [kVA]、2 [kVA]、3 [kVA]、5 [kVA]、10 [kVA]、20 [kVA] の中から負荷に適合したものを選定する。

(h) 自立形ゲート操作盤

3.7 [kW] 以下の電動ゲートの制御用として設置する。駆動用の動力回路及び操作制御用器具を収納する。低圧受電の場合には、電源回路を動力系と制御系に分ける場合がある。

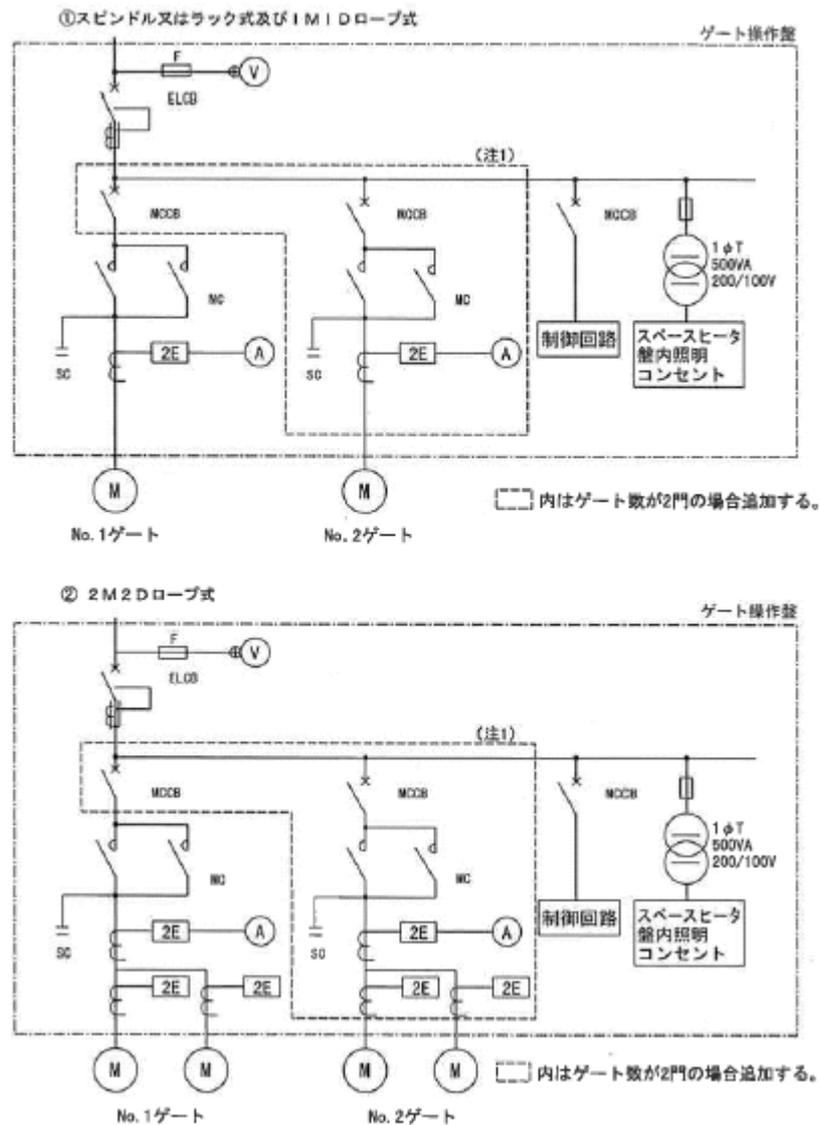


図 3.3-50 自立形ゲート操作盤の接続図

① 仕様選定の注意事項

- (ア) ゲート数は、1 門か 2 門かを選定し、2 門の場合は単線接続図の (注 1) の部分を追加する。
- (イ) 開閉方式にはスピンドル又はラック式、ワイヤロープ式(1M1D 方式、2M2D 方式)があるので、ゲートの仕様にあった開閉方式を選定する。

### 第3章 機器の選定

#### (i) 主ポンプ用機側操作盤

主ポンプ近辺に設置し、機器を直接監視しながら、操作を行うための盤である。主ポンプ1台毎に1面を設ける。

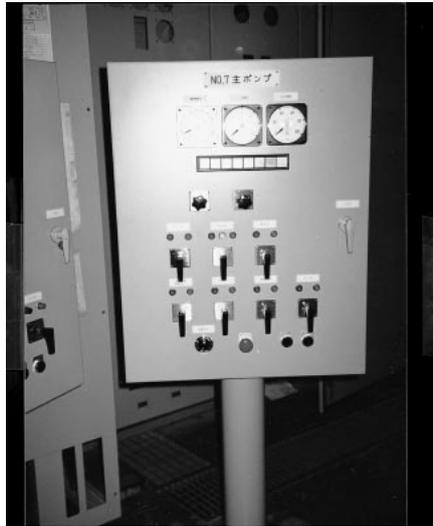


図 3.3-51 主ポンプ用機側操作盤外観例

#### (j) ゲート用機側操作盤

電動ゲートの制御用として設置する。駆動用の動力回路は別途補機盤また、コントロールセンタに収納するものを原則とするが、動力回路、制御回路を収納する場合は自立形とする場合もある。



図 3.3-52 ゲート用機側操作盤(自立形)外観例

(k) 補機用機側操作盤

機場の補機の近辺に設置し、各補機の単独操作を行うための盤である。

各補機は常用一予備の2台とし、種類毎に1面設けることを原則とする。本盤は操作器具のみとし、動力回路、制御回路は別途補機盤、コントロールセンタ、補助継電器盤に収納される。



図 3.3-53 補機用機側操作盤外観例

(l) 補助継電器盤

主ポンプ及び補機の連動制御及び保護を行うための器具類を収納する盤である。電動盤・低圧補機盤と組み合わせて使用する。

低圧補機電動機盤などに補助継電器を収納する場合は本盤が不要な場合もある。

水位又は水量を一定に制御する自動制御を行う場合の制御器具は含まれない。別途自動制御盤を設ける必要がある。



図 3.3-54 補助継電器盤外観例

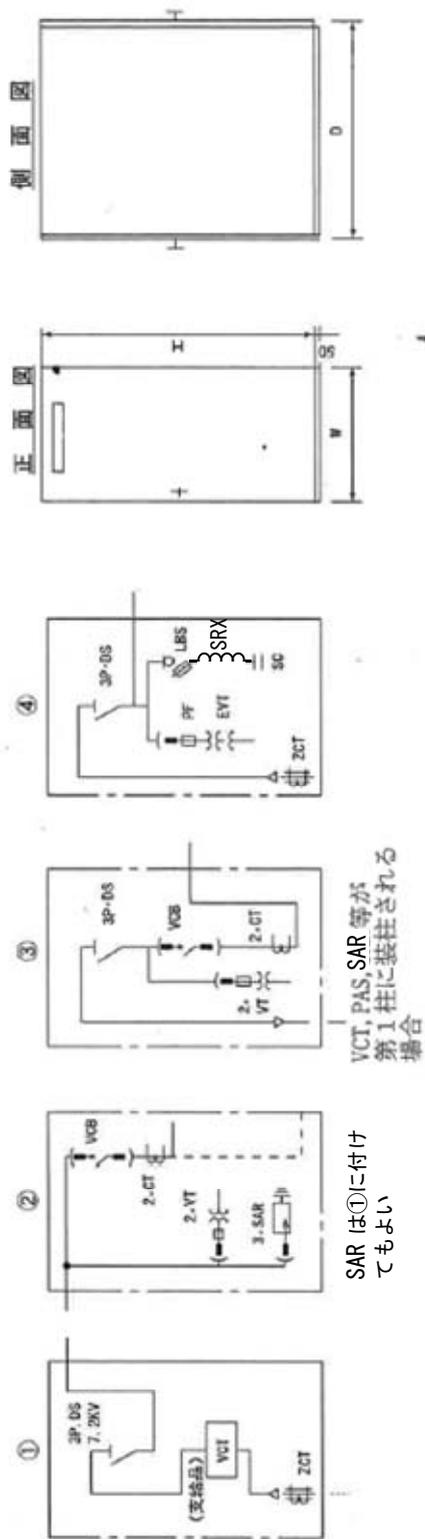
(m) 計装盤

水位又は流量の記録計等を取付けるための盤である。中央操作室に設置される。



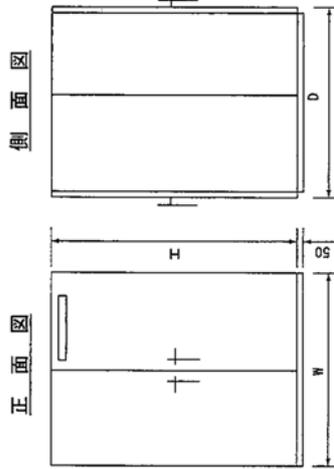
図 3.3-55 計装盤外観例

3.3.5 配電盤の寸法

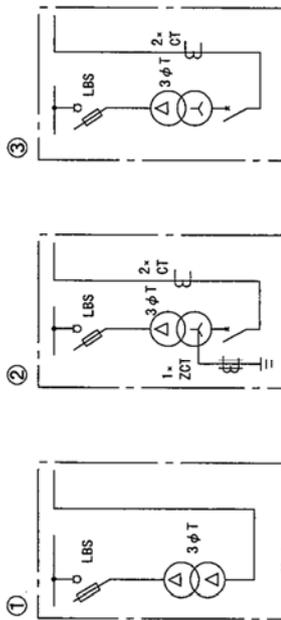


盤名称	しゃ断電流 [kA]			しゃ断電流 [kA]			W [mm]	H [mm]	D [mm]	備考 (収納機器他)	ブロック スケルトン
	電圧 [kV]	母線電流 [A]	JEM 方式	種類	しゃ断電流 [A]	しゃ断容量 [MVA]					
高压引込盤	7.2	400A以上	1 4 2 5 CX	—	—	—	1000	2300	2000	1×3 DS 400A	①
高压受電盤	7.2	400A以上	CM	VCB	12.5/16	160/100	1000	2300	2000	2×PT 1×VCB 1×ZCT	②
引込受電盤	7.2	400A以上	CM	VCB	12.5/16	160/100	1000	2300	2000	1×3P DS 400A 2×PT 1×VCB 2×CT	③
一3kV 次変圧器 引込盤	3.6	400A以上	CX	—	—	—	1000	2300	2000	1×3P DS 400A 1×EVT 1×LBS 200A 1×SC	④

表 3.3-20 引込・受電盤類の外形寸法表 (参考寸法)



注1) W=1000以上は、  
縦音扉とする。



取納変圧器の規格 種類	容量 [kVA]	W [mm]	H [mm]	D [mm]	備考 (取納機器他)	ブロック スケルトン
	150	2300	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G30A	①	
	200	2300+α	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G40A	①	
	300	2300+α	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G50A	①	
	500	2300+α	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G75A 換気ファン付き	①	
モールド	30	2300	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G10A 主幹 MCB 50AF 主幹 CT 50A	②	
	50	2300	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G20A 主幹 MCB100AF 主幹 CT 100A	②	
	75	2300	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G20A 主幹 MCCB225AF 主幹 CT 150A	②	
	100	2300	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G30A 主幹 MCCB225AF 主幹 CT 200A	②	
	150	2300	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G30A 主幹 MCCB225AF 主幹 CT 250A	②	
	200	2300+α	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G40A 主幹 MCCB400AF 主幹 CT 400A	②	
	300	2300+α	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G50A 主幹 MCCB600AF 主幹 CT 500A	②	
	500	2300+α	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G75A 主幹 MCCB800AF 主幹 CT 750A 換気ファン付き	②	

注2) αは換気筒の高さで、400mm程度である。また、備考欄に示す「換気ファン付き」の高さも400mm程度である。

注3) 高圧ヒューズは一般用 (G表記) で示しているが、変圧器用 (T表記) もある。

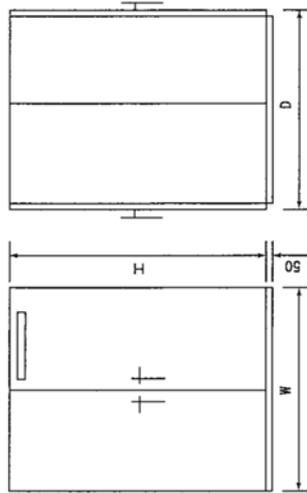
取納変圧器の規格 種類	容量 [kVA]	W [mm]	H [mm]	D [mm]	備考 (取納機器他)	ブロック ケルトン
	50	1000	2300	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G20A 主幹 MCCB225AF 主幹 CT 200A	③
	75	1000	2300	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G20A 主幹 MCCB225AF 主幹 CT 300A	③
	100	1000	2300	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G30A 主幹 MCCB400AF 主幹 CT 400A	③
	150	1000	2300	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G30A 主幹 MCCB600AF 主幹 CT 500A	③
	200	1200	2300+α	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G40A 主幹 MCCB600AF 主幹 CT 750A	③
	300	1400	2300+α	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G50A 主幹 MCCB1000AF 主幹 CT 1000A	③
	500	1600	2300+α	2000	1×LBS, 高圧ヒューズ G75A 主幹 MCCB1600AF 主幹 CT 1500A 換気ファン付き	③

注2) αは換気筒の高さで、400mm程度である。また、備考欄に示す「換気ファン付き」の高さも400mm程度である。

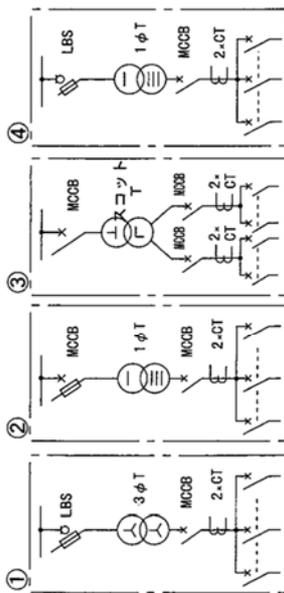
注3) 高圧ヒューズは一般用 (G表記) で示しているが、変圧器用 (T表記) もある。

表 3.3-21 主変圧器盤外形寸法表 (参考寸法)

正面図 側面図

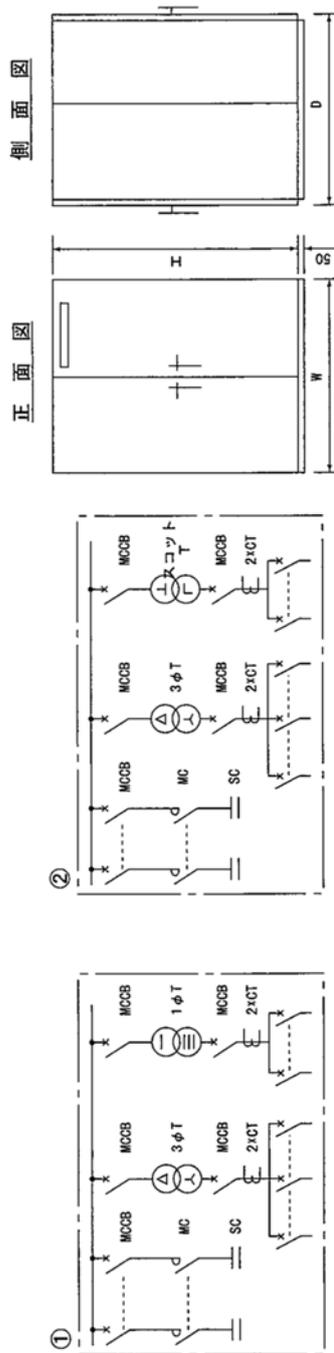


注1) W=1000以上は  
観音扉とする。



用途	取納変圧器の定格容量		幅	高さ	奥行	D	H	D	備考	プロダク ケルボタン
	モールド 容量 (kVA)	モールド 容量 (kVA)								
補機用	モールド (3φ6.6又は 3.3/0.21- は)	10 20 30 50	1000 1000 1000 1000	2300 2300 2300 2300	1700 1700 1700 1700	2000 2000 2000 2000	2300 2300 2300 2300	2000 2000 2000 2000	主幹 MCCB 一次 225AF×1, 二次 100AF×1, 分岐 MCCB50AF×10 主幹 MCCB 一次 400AF×1, 二次 225AF×1, 分岐 MCCB100AF×1, 50AF×8 主幹 MCCB 一次 400AF×1, 二次 225AF×1, 分岐 MCCB100AF×3, 50AF×8 主幹 MCCB 一次 1000AF×1, 二次 400AF×1, 分岐 MCCB400AF×4, 50AF×6 主幹 MCCB 一次 100AF×1, 二次 50AF×2, 分岐 MCCB50AF×12 主幹 MCCB 一次 100AF×1, 二次 100AF×2, 分岐 MCCB 50AF×12 主幹 MCCB 一次 225AF×1, 二次 100AF×2, 分岐 MCCB100AF×3, 50AF×8 主幹 MCCB 一次 400AF×1, 二次 225AF×2, 分岐 MCCB100AF×4, 50AF×10	① ① ① ①
	モールド (1φ 0.2/0.21- は)	10 20 30 50	1000 1000 1000 1000	2300 2300 2300 2300	1700 1700 1700 1700	2000 2000 2000 2000	2300 2300 2300 2300	2000 2000 2000 2000	主幹 MCCB 一次 1000AF×1, 二次 400AF×1, 分岐 MCCB400AF×4, 50AF×6 主幹 MCCB 一次 100AF×1, 二次 50AF×2, 分岐 MCCB50AF×12 主幹 MCCB 一次 100AF×1, 二次 100AF×2, 分岐 MCCB 50AF×12 主幹 MCCB 一次 225AF×1, 二次 100AF×2, 分岐 MCCB100AF×3, 50AF×8 主幹 MCCB 一次 400AF×1, 二次 225AF×2, 分岐 MCCB100AF×4, 50AF×10	② ② ② ②
	モールド (3φ6.6又は 3.3/0.21- は)	10 20 30 50	1000 1000 1000 1000	2300 2300 2300 2300	1700 1700 1700 1700	2000 2000 2000 2000	2300 2300 2300 2300	2000 2000 2000 2000	主幹 MCCB 一次 225AF×1, 二次 100AF×2, 分岐 MCCB100AF×4, 50AF×10 主幹 MCCB 一次 1000AF×1, 二次 400AF×1, 分岐 MCCB400AF×4, 50AF×6 主幹 MCCB 一次 100AF×1, 二次 50AF×2, 分岐 MCCB50AF×12 主幹 MCCB 一次 100AF×1, 二次 100AF×2, 分岐 MCCB 50AF×12 主幹 MCCB 一次 225AF×1, 二次 100AF×2, 分岐 MCCB100AF×3, 50AF×8 主幹 MCCB 一次 400AF×1, 二次 225AF×2, 分岐 MCCB100AF×4, 50AF×10	③ ③ ③ ③
	モールド (1φ 0.2/0.21- は)	10 20 30 50	1000 1000 1000 1000	2300 2300 2300 2300	1700 1700 1700 1700	2000 2000 2000 2000	2300 2300 2300 2300	2000 2000 2000 2000	主幹 MCCB 一次 1000AF×1, 二次 400AF×1, 分岐 MCCB400AF×4, 50AF×6 主幹 MCCB 一次 100AF×1, 二次 50AF×2, 分岐 MCCB50AF×12 主幹 MCCB 一次 100AF×1, 二次 100AF×2, 分岐 MCCB 50AF×12 主幹 MCCB 一次 225AF×1, 二次 100AF×2, 分岐 MCCB100AF×3, 50AF×8 主幹 MCCB 一次 400AF×1, 二次 225AF×2, 分岐 MCCB100AF×4, 50AF×10	④ ④ ④ ④
照明用	モールド (3φ6.6又は 3.3/0.21- は)	10 20 30 50	1000 1000 1000 1000	2300 2300 2300 2300	1700 1700 1700 1700	2000 2000 2000 2000	2300 2300 2300 2300	2000 2000 2000 2000	主幹 MCCB 一次 225AF×1, 二次 100AF×2, 分岐 MCCB100AF×4, 50AF×10 主幹 MCCB 一次 1000AF×1, 二次 400AF×1, 分岐 MCCB400AF×4, 50AF×6 主幹 MCCB 一次 100AF×1, 二次 50AF×2, 分岐 MCCB50AF×12 主幹 MCCB 一次 100AF×1, 二次 100AF×2, 分岐 MCCB 50AF×12 主幹 MCCB 一次 225AF×1, 二次 100AF×2, 分岐 MCCB100AF×3, 50AF×8 主幹 MCCB 一次 400AF×1, 二次 225AF×2, 分岐 MCCB100AF×4, 50AF×10	⑤ ⑤ ⑤ ⑤
	モールド (1φ 0.2/0.21- は)	10 20 30 50	1000 1000 1000 1000	2300 2300 2300 2300	1700 1700 1700 1700	2000 2000 2000 2000	2300 2300 2300 2300	2000 2000 2000 2000	主幹 MCCB 一次 1000AF×1, 二次 400AF×1, 分岐 MCCB400AF×4, 50AF×6 主幹 MCCB 一次 100AF×1, 二次 50AF×2, 分岐 MCCB50AF×12 主幹 MCCB 一次 100AF×1, 二次 100AF×2, 分岐 MCCB 50AF×12 主幹 MCCB 一次 225AF×1, 二次 100AF×2, 分岐 MCCB100AF×3, 50AF×8 主幹 MCCB 一次 400AF×1, 二次 225AF×2, 分岐 MCCB100AF×4, 50AF×10	⑥ ⑥ ⑥ ⑥

表 3.3-22 補機変圧器盤、照明変圧器盤外形寸法表 (参考寸法)



注1) W=1000以上は  
縦音扉とする。

収納変圧器の定格		W [mm]	H [mm]	D [mm]	備考 (収納機器他)	ブロック スケルトン
種類	相数					
モールド	3φ	10	2300	2000	主幹MCCB一次50AF×1, 二次50AF×1,分岐MCCB50AF×7	①
	1φ	5				
(3φ 0.4/0.21	3φ	20	2300	2000	主幹MCCB一次100AF×1, 二次100AF×1, 分岐MCCB50AF×10	①
	1φ	10				
(3φ 0.4/0.21 -0.105 (AV)	3φ	30	2300	2000	主幹MCCB一次100AF×1, 二次100AF×1, 分岐MCCB50AF×10	①
	1φ	20				
3φ	3φ	50	2300	2000	主幹MCCB一次225AF×1, 二次225AF×1, 分岐MCCB100AF×2, 50AF×3	①
	1φ	30				

収納変圧器の定格		W [mm]	H [mm]	D [mm]	備考 (収納機器他)	ブロック スケルトン
種類	相数					
モールド	3φ	10	2300	2000	主幹MCCB一次50AF×1, 二次50AF×1,分岐MCCB50AF×7	①
	3φ	5				
(3φ 0.4/0.21	3φ	20	2300	2000	主幹MCCB一次100AF×1, 二次100AF×1,分岐MCCB50AF×10	①
	3φ	10				
(3φ 0.4/0.21 -0.105 (AV)	3φ	30	2300	2000	主幹MCCB一次100AF×1, 二次100AF×1,分岐MCCB50AF×10	①
	3φ	20				
3φ	3φ	50	2300	2000	主幹MCCB一次225AF×1, 二次225AF×1,分岐MCCB100AF×2, 50AF×8	①
	3φ	30				

表 3.3-23 補機・照明変圧器盤外形寸法表

### 3.4 非常用発電装置

#### 3.4.1 非常用発電装置の必要性

非常用発電装置は、原動機と交流発電機等から構成される。主としてダム、頭首工等におけるゲート操作や排水機場の河川管理等に必要な場合に停電時の対策として非常用発電装置の設置の検討を要する。なお、非常用発電装置を設置する場合、大気汚染防止法\*、消防法（総務省）、騒音規制法（経済産業省）、騒音に関する地域の条例等の規制があるので注意する。

※：大気汚染防止法施行規則の一部を改正する総理府令（昭和62年総理府令第53号）により、非常用施設については、ばい煙の排出基準の適用が猶予されている。

#### 3.4.2 非常用発電装置の構成

非常用発電装置の構成は表3.4-1のとおりである。形式の選定は、設置場所、使用条件及び周辺環境条件等を検討のうえ決定するものとする。

パッケージ形とオープン形の外觀例を図3.4-1～図3.4-4に示す。

表 3.4-1 非常用発電装置の構成

形 式	構 造
パッケージ形非常用発電装置 (発電機盤搭載型)	共舞台床上に原動機、発電機、ラジエータ、バッテリー、制御盤等(燃料タンク、消音器を搭載する時もある)を搭載し、鋼製キャビネット(消音機能等を有するものを含む)に収納したもの。
パッケージ形非常用発電装置 (発電機盤自立型)	共舞台床上に原動機、発電機、ラジエータ等(燃料タンク、消音器を搭載する時もある)を搭載し、鋼製キャビネット(消音機能等を有するものを含む)に収納したもの。
オープン形非常用発電装置 (発電機盤搭載型)	共舞台床上に原動機、発電機、ラジエータ、バッテリー、制御盤等(燃料タンク、消音器を搭載する時もある)を搭載したもの。
オープン形非常用発電装置 (発電機盤自立型)	共舞台床上に原動機、発電機、ラジエータ等(燃料タンク、消音器を搭載する時もある)を搭載したもの。

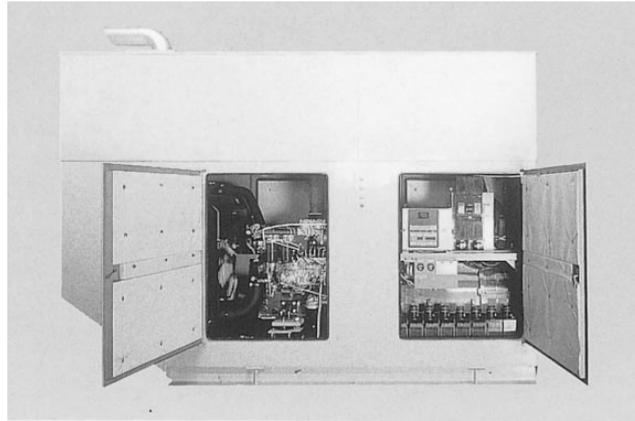


図 3.4-1 パッケージ形非常用発電装置（発電機盤搭載型）外観例

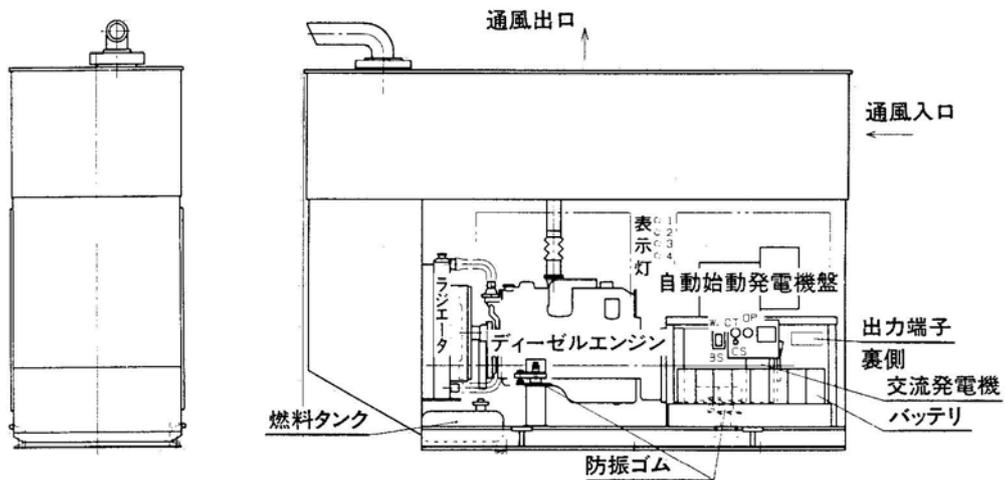


図 3.4-2 パッケージ形非常用発電装置（発電機盤搭載型）構成図例

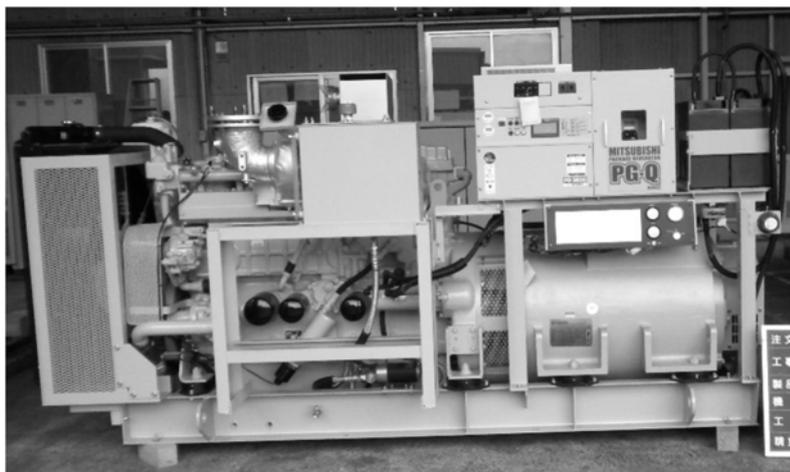


図 3.4-3 オープン形非常用発電装置（発電機盤搭載型）外観例

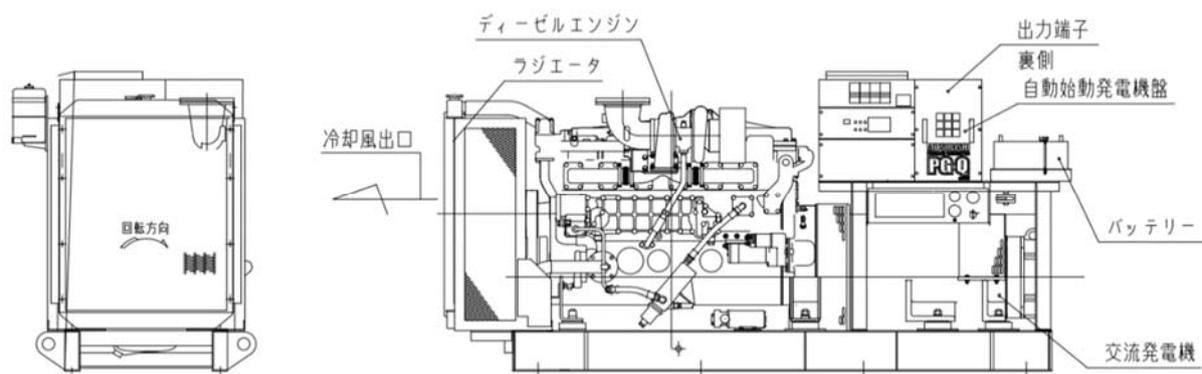


図 3.4-4 オープン形非常用発電装置（発電機盤搭載型）構成図例

(1) ディーゼル機関

(a) ディーゼル機関の種類

ディーゼル機関は動作行程、燃焼方式、冷却方式等によりいくつかの種類がある。

① 動作行程

ディーゼル機関は、シリンダ内に吸入した空気を圧縮して高温にし、圧力を加えて霧状にした燃料を噴射して着火爆発させ、この圧力によりピストンを押下げてクランク軸を回転させ、再びピストンを押上げて排気する。

このようにディーゼル機関は吸入・圧縮・爆発・排気の4行程を繰返して仕事をする原動機である。

この4行程をクランク軸が2回転する間に行うものを4サイクル機関、1回転中に行うものを2サイクル機関という。一般には燃料消費及び振動の少ない4サイクル機関を採用している。図3.4-5に4サイクル機関の行程図を示す。

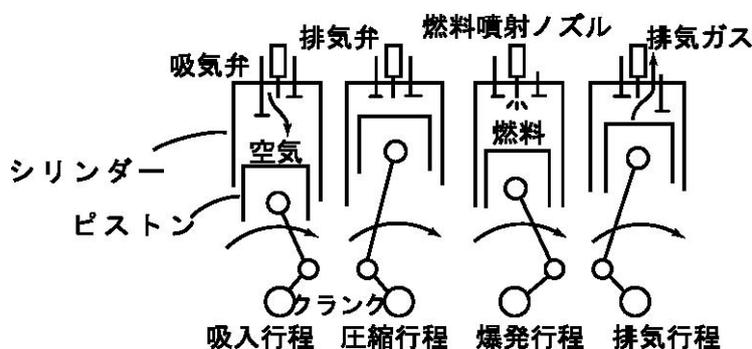


図 3.4-5 4サイクル機関行程図

② 燃焼方式

ディーゼル機関の燃焼方式には直接噴射式と予燃焼室式の2種類がある。

(ア) 直接噴射式

圧縮行程が完了する直前のシリンダ内に燃料噴射弁から直接に燃料を噴射、燃焼させるものである。

直接噴射式ディーゼル機関は始動性が良く熱効率も良好で、中速(500~1000 [min<sup>-1</sup>])・低速(500 [min<sup>-1</sup>] 以下)機関に多い。

(イ) 予燃焼室式

この形の燃焼室は2段に分かれ、燃料はまず予燃焼室内に噴射され、一部燃焼と同時にその室内の温度及び圧力を上昇させる。その圧力によって残りの燃料を主燃料室にふき出し、完全に燃焼させるものである。

予燃焼室式ディーゼル機関は比較的シリンダ径の小さい高速(1200 [min<sup>-1</sup>] 以上)機関に多く、直接噴射式と比較して騒音、振動が小さく、また、NO<sub>x</sub>の発生量が少ない。

しかし、始動の際にほとんどの予燃焼室式機関は予熱を行わなければならないので、始動時間が長くなる欠点がある。一方このため直接噴射式と比べて、周囲温度が低くても始動できる利点がある。

#### ③ 冷却方式

ディーゼル機関の冷却方式には水冷、空冷の2方式がある。水冷式は機関の外部から供給される冷却水で機関内部を冷却する方式である。

空冷式は機関のクランク軸から直接駆動されるファンにより冷却する方式である。空冷式ディーゼル機関は小容量のものが多く、発電用としては、あまり採用されない。

#### ④ シリンダ配列

ディーゼル機関のシリンダの配列は、発電用としては立形及びV形が採用されている。立形には4, 6, 8気筒が多く、V形には12, 16, 18気筒が多く採用されている。

#### ⑤ 始動方式

ディーゼル機関の始動方式には圧縮空気による空気始動方式と、セルモータによる電気始動方式がある。

##### (ア) 空気始動方式

空気圧縮機で圧縮した空気を空気タンクに蓄えておき、始動の際にこの空気を機関の分配弁・始動弁を通してシリンダ内に送り込んでピストンを押下げる。これを繰返して機関を始動させる方式である。

図3.4-6は、空気始動方式を示す。

##### (イ) 電気始動方式

バッテリーに接続したセルモータのピニオンを機関のはずみ車に切ったギアとかみ合わせて、機関を始動させる方式である。小形発電装置は電気始動方式で行っている。

図3.4-7は、電気始動方式を示す。

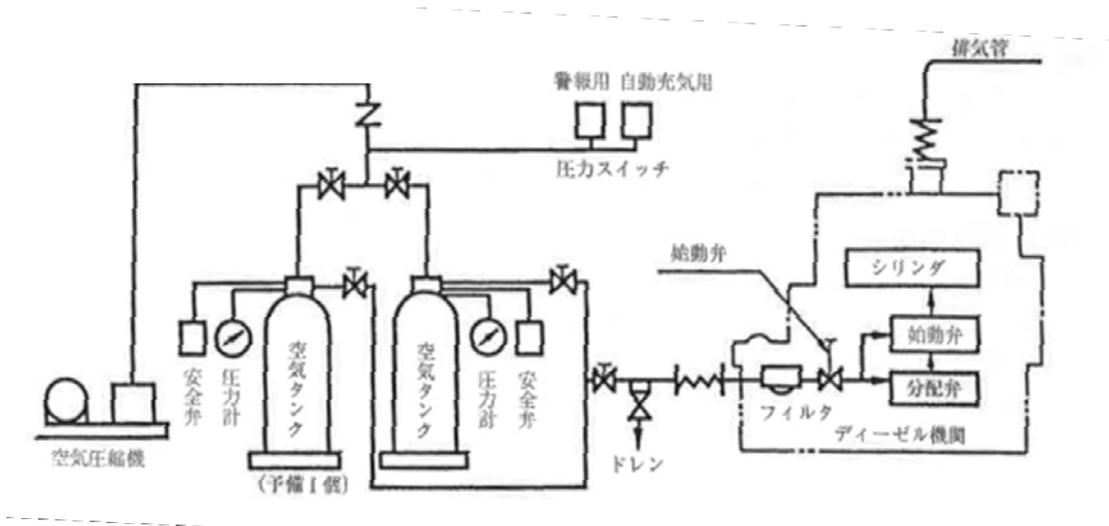


図 3.4-6 空気始動方式

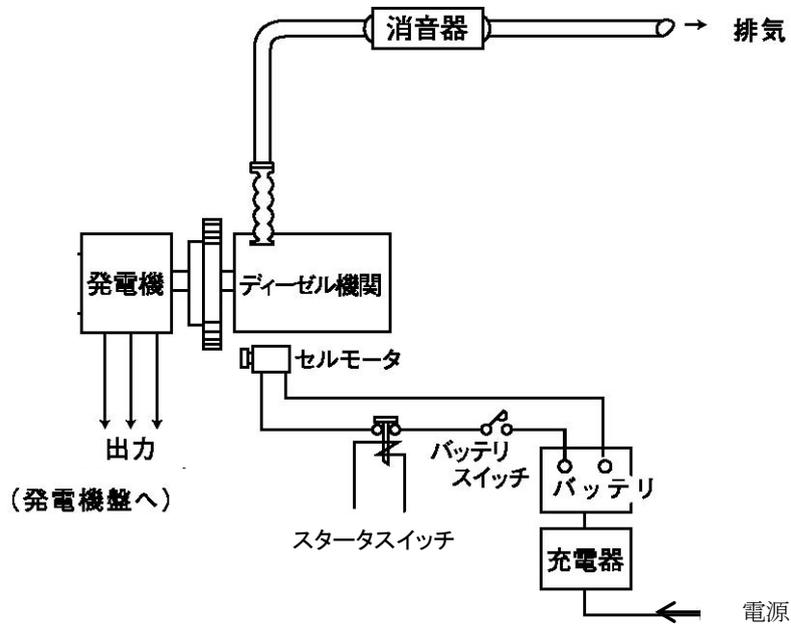


図 3.4-7 電気始動方式

(b) ディーゼル機関の諸系統

① 燃料系統

ディーゼル機関の燃料は通常、

燃料貯油槽→移送ポンプ→燃料小出槽（搭載タンク）→（フィルタ）→機関

の経路にしたがってシリンダ内に送り込まれ、燃料の供給量は機関の回転速度の増減を调速機により検知し、燃料調整軸を動作させることにより調整している。図 3.4-8 及び図 3.4-9 に貯油槽が高い位置にある場合と低い位置にある場合の燃料系統例を示す。

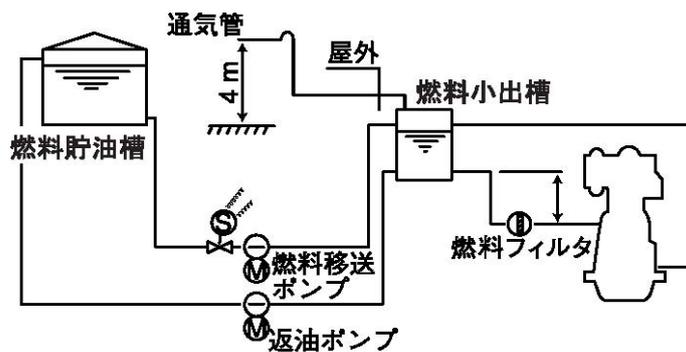


図 3.4-8 燃料系統例（貯油槽が高い位置にある場合）

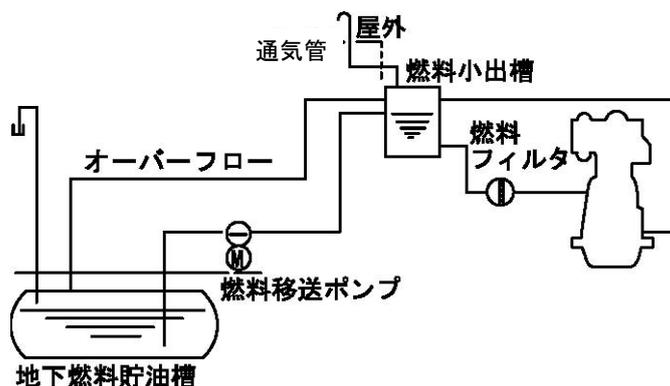


図 3.4-9 燃料系統例（貯油槽が低い位置にある場合）

また、ディーゼル機関に使用する燃料は J I S 規格によって次のように決められている。

軽油	JIS K 2204 特1号～特3号
A重油	JIS K 2205 1種2号

非常用として使用される場合は年間運転時間がきわめて少なく、100 時間程度以内であるから燃料費よりも入手しやすく始動性の良いということを重視して軽油を選定するのが一般的であるが、エンジンポンプがある場合は、エンジンポンプ機関の燃料に合わせる。

② 潤滑油系統

300 [kVA] 以下で使用されるディーゼル機関では、潤滑油系統は強圧注油式でクランク軸より駆動される歯車ポンプにより油冷却器、フィルタを経て機関各部へ強圧注油され、各部を潤滑した油は、クランク室下部の軸受又はサンプタンクに集まり循環使用される。

③ 冷却水系統

冷却水の系統は主に必要な水量とこれらの調達度によって種々の系統を考えられ、以下にそれらの例を紹介する。

(ア) ラジエータ冷却方式

図 3.4-10 にラジエータ冷却方式の水系統例を示す。この方法は装置の一部としてラジエータを設け冷却水を循環して使用する方法である。他の水冷式に比較してシステムが簡単であるが、室内の換気量を多量に必要とし換気に困難を伴う場所には不向きであるが、水の便の悪い場所や特に小、中容量予備発電装置に多く採用されている。

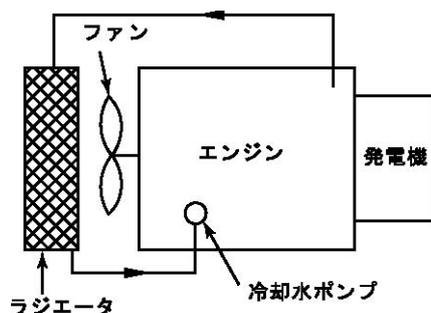


図 3.4-10 ラジエータ冷却方式の水系統例

(イ) 放流式

図 3.4-11 は放流式の水系統例を示す。この方法は高架水槽に貯えられた水がある場合や、水道水等常時適当な圧力水が得られる場合に使用される。高架水槽の場合でも常時圧力が 0.098 ~0.196 [MPa] 程度であれば問題ないが、それ以上の場合には図に示すように減圧水槽あるいは熱交換器を設ける。また、水道水の場合も機関に直接配管することは法律上許されていないので適当な水槽を設ける。

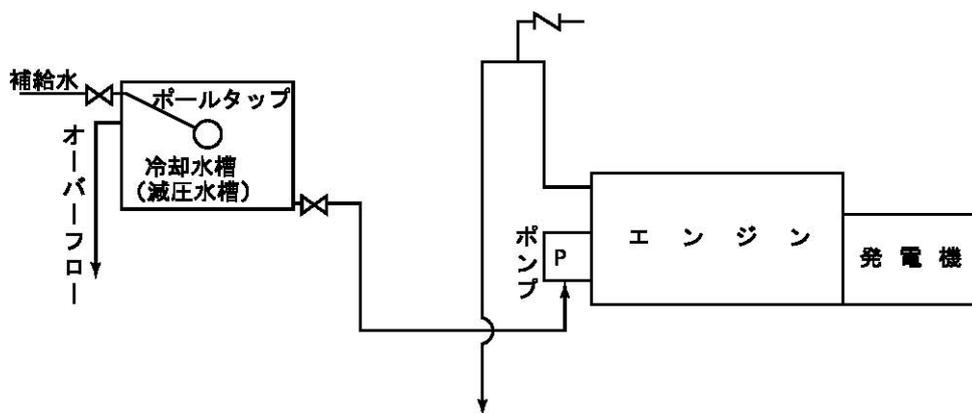


図 3.4-11 放流式の例

(ウ)クーリングタワー式

図 3.4-12 はクーリングタワー式の水系統例を示す。この方式ではクーリングタワーは発電機室外の建築物の屋上又は屋外に設置される。

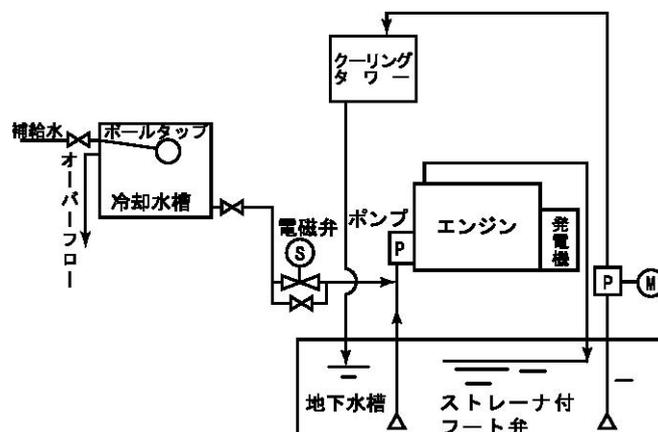


図 3.4-12 クーリングタワー式の例

④ 排気系統

ディーゼル機関の排気ガスは、350～450℃程度の高温度となる。排気ガスは、過給機付の場合は過給機を経て消音器を通り、屋外に排出する。

消音器は、エンジンから発生する騒音のうち、排気音及び吸気音の騒音対策として使用される。

排気消音器と吸気消音器では、高温の排気ガスを取り扱うか、常温の空気を取り扱うかが相違するのみで、原理的には全く同一である。

なお、消音器の形式として代表的なものを挙げれば、次のとおりである。

(ア)膨張形消音器 (図 3.4-13)

排気ガスを消音室に導き、膨張、拡散することにより音のエネルギーを減衰させるもので、一般に低い周波数の騒音を消音するために使用される。

(イ)共鳴形消音器 (図 3.4-14)

音響管の途中にけい部を設けて空洞を組み合わせると、けい部の気体が質量、空洞がばねとして一種の共鳴作用が行われ、音波のエネルギーが消耗して消音されることを応用したものである。

(ウ)吸音形消音器 (図 3.4-15)

消音器の内壁に吸音材を取付け、高周波域の減衰効果を高めるように考慮された消音器で、本体の容積が大きくなると高周波域の容積も大きくなり十分な消音効果が期待できるものである。ただし、消音器容積の小さいものについては、余り大きな効果は望めない。

実際には、排気ガス抵抗を小さくし、吸音表面積を大きくするため、ガスの通路を螺旋状に構成しており、また、内部の壁材に多穴板を使用し、多穴板の外側に吸音材を充填して多穴板により音波を乱射させて吸音材に吸音させるように構成されている。

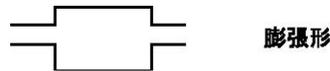


図 3.4-13

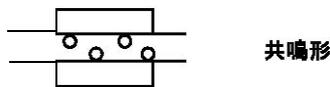


図 3.4-14

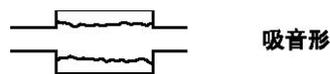


図 3.4-15

(2) ガスタービン機関

(a) ガスタービンの歴史

ガスタービンは1791年英国の John Barber が開発し、現在の形に近い形で製作されたのは、1872年のことである。しかしこの製品は出力を出すまでに至らず、実出力の得られた最初のガスタービンは、フランスの August Rateau の設計によりスイスの B B C が製作したもので、ガス温度 555°C でタービン出力 400 [PS] が得られたが、この出力はコンプレッサを駆動するために大部分が消費され、熱効率は 3 [%] に過ぎなかった。

これらのガスタービンが実用化されなかったのは、当時のガス温度が380～430〔℃〕と低かったことと、コンプレッサの効率が悪くこれの駆動に動力を費やした点にあった。しかし第2次大戦後のジェットエンジンの急速な発達にともなう関連技術、特に超耐熱材料の開発により、ガスタービンのガス温度も次第に高温化することが可能となり、最近では1,100〔℃〕に達している。このことはガスタービンの特徴の一つであり、小形、軽量化を推し進め、かつコストの大幅な低減が可能となり、1960年頃からその特徴を生かした分野に急速に実用化が進んだ。すなわち国内では、まず大形分野（10,000〔PS〕以上）で1960年頃から主として電力会社のピークカット用として実用化が始まり、1970年に入ってからでは中小形の分野（250～2,000〔PS〕）でもガスタービンが普及し始めてきた。

(b) ガスタービンの動作原理

ガスタービンの構造は図3.4-16に示すようにコンプレッサ、燃焼器及びタービンから構成され、作動流体である空気はフィルタ、消音器などを経てコンプレッサに導かれ、この空気はコンプレッサで圧力比3～15程度に圧縮され、更に燃焼器で燃料を加えて、高温（800～1,100〔℃〕）・高圧の燃焼ガスになる。この燃焼ガスはタービンで大気圧まで膨張し、機械エネルギーに変換される。

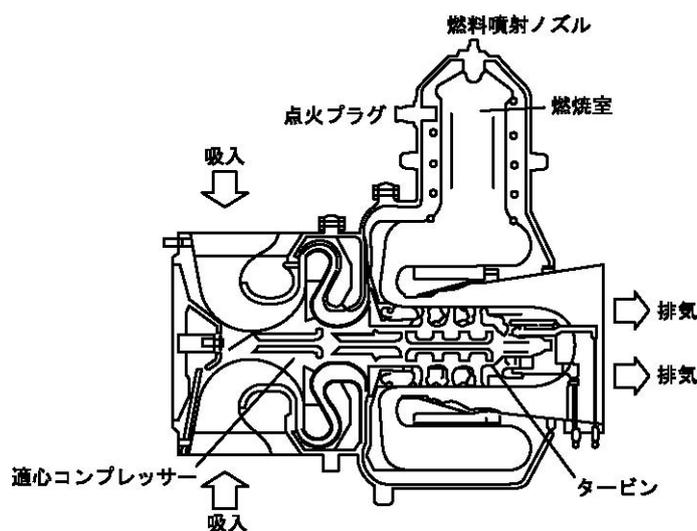


図 3.4-16 ガスタービンの構造例

タービンを出た排気ガスは、ディフューザ、ダクト、排気消音器を経て大気に放出される。ガスタービンの回転速度は約1~4万 $[\text{min}^{-1}]$ の高速であるため、減速機を設けて1,500~3,600 $[\text{min}^{-1}]$ に減速して使用している。ガスタービンの出力調整はガバナにより燃焼器に供給される燃料の量を変化させて行う。この他にガスタービンの附属装置として始動装置、潤滑油装置などが必要となる。

ガスタービンとピストン機関（往復動機関）との異なる点は次のとおりである。

- ① 回転機関であるため、往復運動を回転運動に変えるメカニズムが不要である。
- ② ピストン機関はその構造上、作動流体を増やして出力を高めるといことが困難であるが、ガスタービンはその構造上からも作動流体を多量に処理できるので、大出力化がきわめて容易である。
- ③ ピストン機関はサイクルの全行程をシリンダとピストンだけで行うが、ガスタービンは、圧縮は圧縮機、燃焼は燃焼器、膨張はタービンでそれぞれ専門に行う。
- ④ ピストン機関は断続的に燃焼するが、ガスタービンは燃焼が連続して行われるので、一度着火して始動させると、燃料供給を停止するまで燃焼が続く。

(c) ガスタービンの軸構成

ガスタービンはその機能の分担上からガス発生機（ガスジェネレータ）部と出力タービン（パワータービン）部の二つの部分に大きく分割して考えることができる。この内ガス発生機部はコンプレッサ、燃焼器及びタービンの一部分から構成され、その機能は出力タービンに高温高圧のガスを供給する点にある。ガス発生機部のタービンはコンプレッサを駆動するのに必要な出力のみを発生し、この出力は全タービン部出力の約2/3に相当し、残りの1/3が出力タービンの有効出力となる。この出力タービン部から取り出し得るネットの出力はガス発生機部の速度により決まる。ガス発生機部の速度が早ければ出力タービンから取り出し得る出力も大きくなる。この性質はガスタービンの軸構成を考えると非常に重要である。

図3.4-17にガスタービンの主要な軸構成形式である「一軸式」と「二軸式」の概念図を示す。

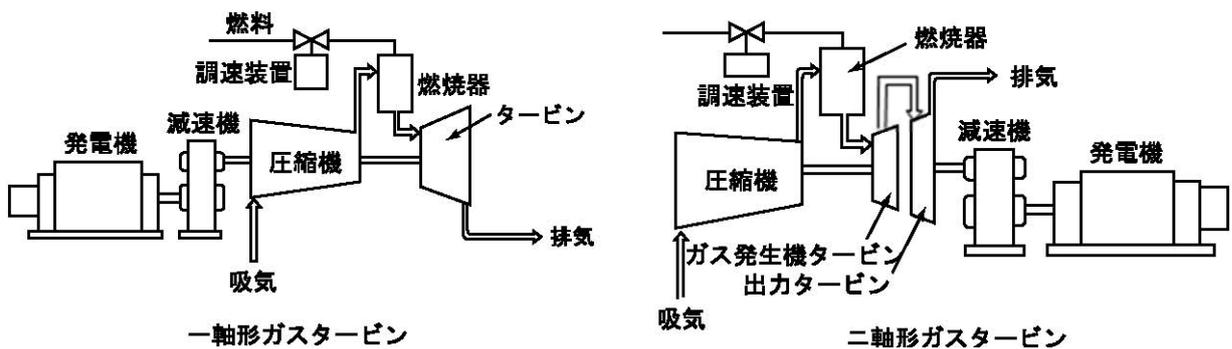


図 3.4-17 ガスタービンの軸構成

以上の一軸式と二軸式の高スタービンの比較をまとめると表 3.4-2 のようになる。

表 3.4-2 一軸式・二軸式高スタービンの比較

項 目	一 軸 式	二 軸 式
性 能	負荷変動に対し非常に安定 (100 [%] 負荷投入時 瞬時 4 [%] (3 [%]) 整定 0~4 [%] (可変))	負荷変動に対する安定性 一軸に劣る。 (70~75 [%] 負荷投入時 瞬時 10 [%] 整定 0~4 [%] (可変))
	低回転時のトルク低い	低回転時でも高トルクが出せる。
高スタービン構造	簡 単	複 雑
速 度 制 御 装 置	—	—
始 動 装 置 容 量	やや大	小
適 正 用 途	発電機駆動用	コンプレッサー、ポンプ 駆動用 車両及び船舶推進用

(d) 始動方式

高スタービンはディーゼルエンジンなどと同様にタービン自体では始動力がないため、外部から始動トルクを与える。この方式には電気始動方式と空気又はガス始動方式とがあり、一般には前者の電気式を用いる。

これは始動指令により燃料電磁弁を開いて燃焼器に燃料供給の準備をして、セルモータを駆動し、同時に点火プラグに通電する。以上によりタービンは約 50 [%] 速度になると自然燃焼状態になり、点火プラグとセルモータを制御系から取り除いて始動を完了する。

一方空気の場合は上記のセルモータの代わりにエアーモータを使用する点が異なる。

(e) 高スタービンの諸装置

高スタービンにはタービン本体以外に燃料、潤滑油、吸気・排気装置、始動装置などが必要である。

#### ① 燃料装置

ガスタービンの燃料には流体燃料として、A重油、軽油及び灯油がある。また、デュアル方式として、液体燃料を切替える方式もある。

#### ② 潤滑油装置

ガスタービンが回転を始めると、本体駆動のメインポンプは潤滑油タンクから潤滑油を吸い上げて、潤滑油冷却器へ送油する。潤滑油冷却器を出た油は潤滑油フィルタを通り、潤滑油マニホールドに送られ、ここから減速機各部軸受に注油される。各部冷却のあと潤滑油タンクに戻る。

#### ③ 吸気及び排気系統装置

ガスタービンはディーゼルエンジンと異なり、空気を作動媒体としているため吸排気量はディーゼルエンジンの3~4倍となり、多量の空気が必要となり、吸排気の問題と消音の目的から発電装置全体をキュービクルに収納するのが一般的である。

一般に建屋吸気ガラリから必要空気量を吸気し、燃焼後の排気はキュービクル本体から排気消音器を介して屋外に排気される。発電機室の換気はこの吸排気量と室温に関係がある。

#### ④ 調速装置

ディーゼルエンジンの場合と同様の調速装置を使用する。

### (3) ガスタービン機関とディーゼル機関の比較

ガスタービンは空気を作動流体とし、その「吸入」「圧縮」「燃焼」「膨張」「排気」の間にもつ熱エネルギーを機械的エネルギーに変換する原動機であり、この点ではディーゼルエンジン、ガスエンジンなどと全く同じで内燃機関と呼ばれる。

ガスタービンは作動流体である空気の「吸入」から「排気」に至る過程が独立の機能をもった別々の場所（吸気ケース、コンプレッサ、燃焼器、タービン及び排気ディフューザー）で各々連続的に行われるのに対し、ディーゼルエンジン又はガソリンエンジンなどではこれらの過程が同一の場所（シリンダ）で順次、間欠的に行われる点が異なり、ガスタービンとディーゼルエンジンの作動比較を図3.4-18に示す。

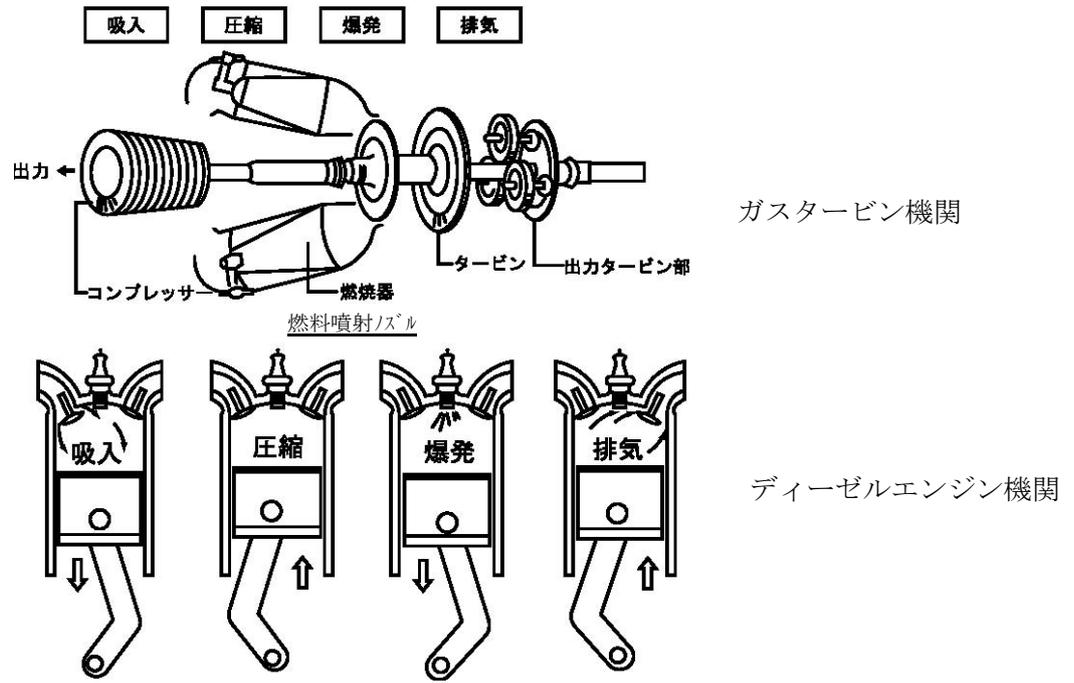


図 3.4-18 ガスタービン機関とディーゼルエンジン機関

表 3.4-3 にディーゼル機関とガスタービン機関の比較を示す。

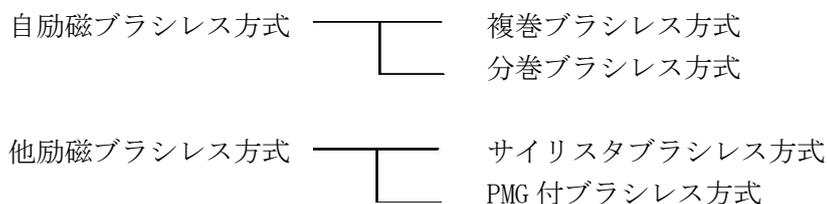
表 3.4-3 ディーゼル機関とガスタービン機関の比較

原動機 項目	ディーゼル機関	ガスタービン機関
作動原理	断熱燃焼する燃焼ガスの熱エネルギーを一旦ピストンの往復運動に変換し、それをクランク軸で回転運動に変換(往復運動→回転運動)	連続燃焼している燃焼ガスの熱エネルギーを直接タービンにて回転運動に変換
出力	吸込空気温度による出力を減少する割合は少ない。	吸込空気温度が高い場合は、一定寿命を保証するために出力が制限される。
燃焼消費率	210~310 [g/kWh] (150~230 [g/PSh])	ディーゼル機関に比べ多い。 260~680 [g/kWh] (190~500 [g/PSh])
使用燃料	軽油、A重油 (B重油、C重油、灯油)	灯油、軽油、A重油、天然ガス (プロパン、B重油、C重油)
燃焼用空気量	1	ディーゼル機関に比べ約 2.5~4 倍必要
潤滑油消費量	0.7~4.1 [g/kWh] (0.5~3 [g/PSh])	0.1~0.7 [g/kWh] (0.1~0.5 [g/PSh])
回転速度変動率	瞬 時 10 [%] 以下 整 定 5 [%] 以下	瞬 時 10 [%] 以下 (一軸形の場合は 5%以下) 整 定 5 [%] 以下
瞬時負荷投入率	100 [%] (無過給) ~50 [%] (過給)	100 [%] (一軸形) ~70 [%] (二軸形)
始動時間	10~40 秒	30~40 秒
軽負荷運転	燃料の完全燃焼が得られにくい。潤滑油が増し燃焼室内あるいは排気タービン(過給機)に付着し、カーボン化する量が多い。	問題なく運転可能。
N o x 量等	300~1000 [ppm]	20~150 [ppm]
振 動	防振装置により減少可能	防振装置不要
体積、重量	部品点数が多く、重量が重い。	構成部品点数が少なく、寸法、重量とも小さく軽い。
据 付	据付面積が大きい(補機類を含む)基礎が必要 吸気・排気処理装置が小さい。	据付面積が小さい。 基礎が殆ど不要 吸気・排気処理装置が大きくなる。
冷 却 水	44~55 [L/kWh] (30~40 [L/PSh]) (放流式)	不 要
保 守 性	長期休止中も含め定期的な保守運転、管理が必要であり、点検頻度はガスタービンより多いが点検整備はほとんど現地で可能。	構造が簡単のため点検箇所も少ないが、定期整備などはメーカーの工場へ持込む必要がある。 なお、日常点検する箇所は少ない。
回転数範囲	500~5,000 [min <sup>-1</sup> ] 程度	10,000~40,000 [min <sup>-1</sup> ] 程度

(4) 交流発電機

交流発電機の形式も、ディーゼル機関と同様に励磁方式、保護方式、冷却方式等によりいくつかの形式に区分することができる。

(a) 励磁方式



① 自励式ブラシレス方式

(ア) 複巻ブラシレス方式

電源系統上重要な発電機で、短絡時に系統の過渡安定度をそこなわず、また、事故点解列後も引きつづき重要負荷に給電する必要がある場合に使用する。また、負荷電流による端子電圧の効果を、その負荷電流によって補償する複巻特性も持っているのも特徴の一つである。

(イ) 分巻ブラシレス方式

比較的小容量の発電機や可搬形の場合で、負荷の重要度がそれほどなく短絡時に解列しても差し支えないようなときに使用する。

② 他励式ブラシレス方式

(ア) サイリスタブラシレス方式

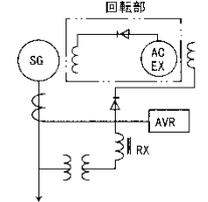
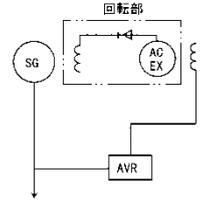
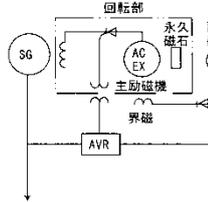
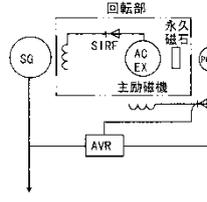
ブラシレスの短所である過渡時の電圧降下を回復の速応性に多少欠ける点を回転整流素子をシリコン整流素子 (SR) から、サイリスタ (SCR) に置き換えることにより、解決したもので、保守面の有利さも併せてもつ速応性のすぐれた方式である。

(イ) PMG 付ブラシレス方式

発電機定格電圧が 6.6 [kV] を超える非標準高電圧の場合、励磁源の変成器は高価となるので PMG (Permanent Magnet Generator) を発電機軸端に設け、これにより交流励磁機の励磁電源とする。この場合出力電圧の制御は PMG の出力を外部サイリスタで調整し、交流励磁機の出力電圧を制御することにより行う。この方式では初期励磁が不要となる。

以上の励磁方式を比較すると表 3.4-4 のようになり、現在では、小形は PMG 付ブラシレス方式も使用されているが、自励式ブラシレス方式が多く使用されている。

表 3.4-4 発電機励磁方式の比較

項目	自励式ブラシレス方式		他励式ブラシレス方式	
	複巻ブラシレス方式	分巻ブラシレス方式	サイリスタブラシレス方式	PMG付ブラシレス方式
励磁方式	 <p>CTにより負荷に応じた複巻特性を存するAVRは界磁電流の一部を分流回路に分流して界磁電流を制御する。</p>	 <p>AVRにより励磁機回路を制御する。</p>	 <p>AVRにより界磁を直接制御する。</p>	 <p>AVRにより主励磁機の界磁を制御する。</p>
瞬時電圧変動特性 発電機定格の100kVA(力率0.4)の始動負荷を投入した場合	電圧変動…30%以内 復帰時間…1.0秒以内	電圧変動…30%以内 復帰時間…1.5秒以内	電圧変動…25%以内 復帰時間…0.5秒以内	電圧変動…30%以内 復帰時間…1.0秒以内
短絡電流	2.5倍以上	不可能	3倍以上	2倍以上

(b) 構造

同期発電機には、回転電機子形と回転界磁形がある。

- ・回転電機子形は、電機子が回転する構造のため巻線の高圧の絶縁、遠心力に対する保護が困難であるため低圧の小容量の発電機に用いられている。
- ・回転界磁形は、電機子巻線が固定し、界磁の部分が回転する構造で、回転する界磁巻線を回転子巻線といい低速のものには突極形回転子が用いられ、高速のものには同筒形回転子が用いられる。

(c) 交流発電機の定格

① 定格出力

発電機出力は、通常 [kVA] で表わす。

表 3.4-5 に交流発電機の定格出力を示す。

表 3.4-5 交流発電機の定格出力 JEM-1354 (2014)

標準定格出力	
[kVA]	[kW] (力率 0.8)
20	16
37.5	30
50	40
62.5	50
75	60
100	80
125	100
150	120
200	160
250	200
300	240

② 定格電圧

定格電圧は、連結される受変電系統の発電電力供給範囲、発電電力供給容量、受電—発電切替方式等を総合的に検討して決定する。

一般的には、次のように採用される。

- ・(低圧の発電機)低圧受電の施設、高圧変圧器 1 台の施設
- ・(高圧の発電機)高圧変圧器が複数台の施設

高圧発電方式と低圧発電方式の特徴を表 3.4-6 に示す。

表 3.4-6 交流発電機の定格電圧

項目	高圧発電方式	低圧発電方式
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電力系統の高圧母線に接続されるため、買電—発電切り換え部を含む電力系統が単純。</li> <li>・配電系統が高圧の場合又は高圧負荷がある場合に適用。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電力系統の低圧母線に接続されるため、発電機運転時に高圧母線が無電圧となり、高圧側の点検が可能。</li> <li>・小容量の場合は、搭載形発電装置がある。</li> </ul>
適応性	比較的大電力の発電に適応	比較的小電力の発電に適応

③ 力率

定格力率は 80 [%] 遅れとする。

④ 回転数

ベルト連結方式、増(減)速ギア連結方式を除き発電機はディーゼル機関と直結しているの  
で、発電機の回転速度はディーゼル機関の回転速度と同一となる。

発電機の極数及び周波数と、回転数との関係を次式に示す。

$$N = \frac{120f}{P} \quad [\text{min}^{-1}]$$

ただし  $n$  : 回転数  $[\text{min}^{-1}]$

$f$  : 周波数  $[\text{Hz}]$

$P$  : 極数

上式より極数に対する回転数の関係を整理すると表 3.4-7 のようになる。

表 3.4-7 回転速度一覧表

極 数	回転数 $[\text{min}^{-1}]$	
	50 $[\text{Hz}]$	60 $[\text{Hz}]$
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600

⑤ 絶縁種別と温度上昇

現在一般的に、発電機の絶縁はB種又はF種を採用している。

(5) ディーゼル発電装置の制御及び保護

(a) 始動及び停止

ディーゼル機関を始動するためには、始動方式の自動、手動のいかんを問わず次のことが必要である。

- ・燃料を準備する。
- ・事前に潤滑油を潤滑させる。  
(小容量機では、これは必要ないことがある。)
- ・冷却水を流す。
- ・自力燃焼可能な速度まで外部から回転エネルギーを供給する。  
(この方法として空気式と、電気式がある。)

機関の自動始動はこれらを自動的に行うシーケンス制御であり、機関の停止は、燃料を遮断するか、場合によっては吸入空気を遮断するかにより行うが、機関停止に伴い、冷却水を止める等の付帯事項処理が必要である。以下に空気始動、電気始動についてその一例を示す。

① 空気始動による方法

機関のシリンダに圧縮空気を導き、その膨張力を利用して他のシリンダを爆発行程に持込むことにより始動させる方法である。

(ア) 必要な付属品

始動用空気槽

コンプレッサ（空気槽の圧力が低下した場合には自動的に始動させ空気槽を充気する）

(イ) 圧縮空気による自動始動（図 3.4-19 参照）

停電検出後次の順序で始動させる。

順序 1. 始動電磁弁と冷却水電磁弁を励磁させる。

順序 2. 冷却水電磁弁を開き機関に給水を始める。

順序 3. 始動電磁弁が開き空気槽からの高圧空気を減圧した操作空気によって潤滑油ブースタを押し初期注油する。

順序 4. 操作空気は主始動空気弁を開く。

順序 5. 空気槽からの圧縮空気が機関のピストンに入り始動を開始する。

順序 6. 機関回転数が規定速度の 20～30 [%] に達すれば機関は自動燃焼状態に入るので、この速度を検出して始動電磁弁の励磁を解く。

順序 7. 機関は規定速度に達し、调速機の動作によって定格速度に保つ。

順序 8. 発電機は回転数上昇に伴って徐々に電圧を発生し規定電圧に達する。

順序 9. 機関が規定速度に達した後、時限をもって潤滑油圧力低下、冷却水温度上昇等の保護回路を形成する。

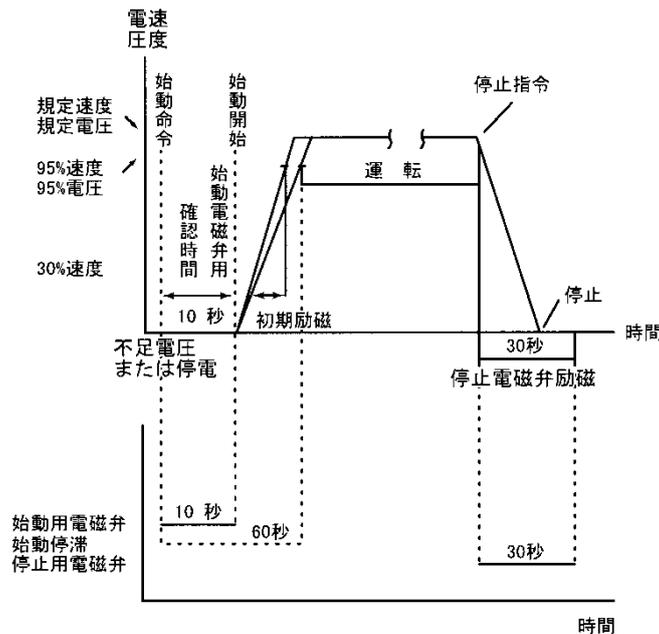


図 3.4-19 空気式自動制御装置タイムチャート

② 電気始動（セルモータ）による方法

始動用蓄電池によりセルモータを駆動し、セルモータのピニオンと機関のはずみ車に刻まれたギアとをかみ合わせて機関を回転させ、自動燃焼状態にまで持込む方法である。

(ア) 必要な付属品

- 始動用蓄電池設備
- 同上用充電装置

(イ) セルモータによる自動始動 (図 3.4-20 参照)

停電検出後次の順序で始動させる。

順序 1. 予熱栓を予熱する。(予熱栓のある機関のみ)

順序 2. セーフティリレーの動作によりセルモータに付属しているマグネットスイッチを励磁する。

順序 3. セルモータが回転すると同時に、セルモータのピニオンが機関のギアにかみ合う。

順序 4. セルモータによる機関は駆動する。

順序 5. 機関回転数が 20~30 [%] になると自動燃焼状態に入り、速度検出装置の動作 (低速検出) によってセルモータ回路を切りはなす。

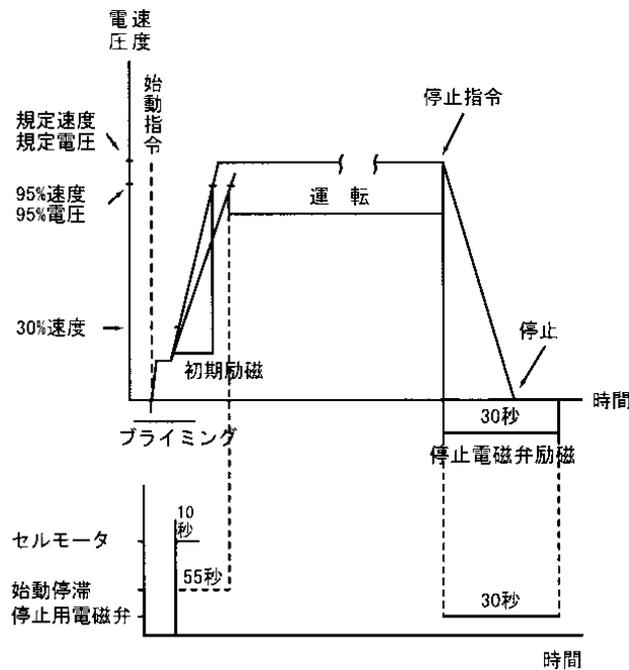


図 3.4-20 電気式自動制御装置タイムチャート

③ 停止

機関主制御スイッチを停止するか、重故障の検出装置が動作した場合に機関は停止する。重故障によって停止した場合は自動始動盤に表示警報のうえ、始動回路を閉塞し再始動しない。

(b) 保護装置

発電装置を安全にかつ確実に運転するためには原動機及び発電機更に補機に対する保護装置が必要である。表 3.4-8 に保護装置の内容を示す。

[重故障] 表示警報とともに遮断器をトリップし、機関を停止する。

[軽故障] 表示警報のみ。

表 3.4-8 ディーゼル発電装置の保護装置（例）

区 分	保護の種類	機関停止	遮断器 トリップ	表 示 警 報	備 考
重故障	潤滑油圧力低下	○	○	○	
	冷却水温度上昇	○	○	○	
	冷却水断水	○	○	○	省略の場合もある
	過速度	○	○	○	
	始動渋滞	—	—	○	始動回路閉塞
	過電圧	○	○	○	
	過電流	—	○	○	
	非常停止	○	○	○	
軽故障	蓄電池故障	—	—	○	
	燃料小出槽油面低下	—	—	○	

前述した故障が発生した場合は、発電機盤上の故障表示器にて故障の内容を表示するとともに、ベル又はブザーにて警報する。

3.4.3 非常用発電装置の選定

農業農村整備事業において商用電源が停電しても施設の機能を維持する必要がある施設では非常用発電装置の設置を行っている。図3.4-21に非常用発電装置の選定の概略フローを示す。

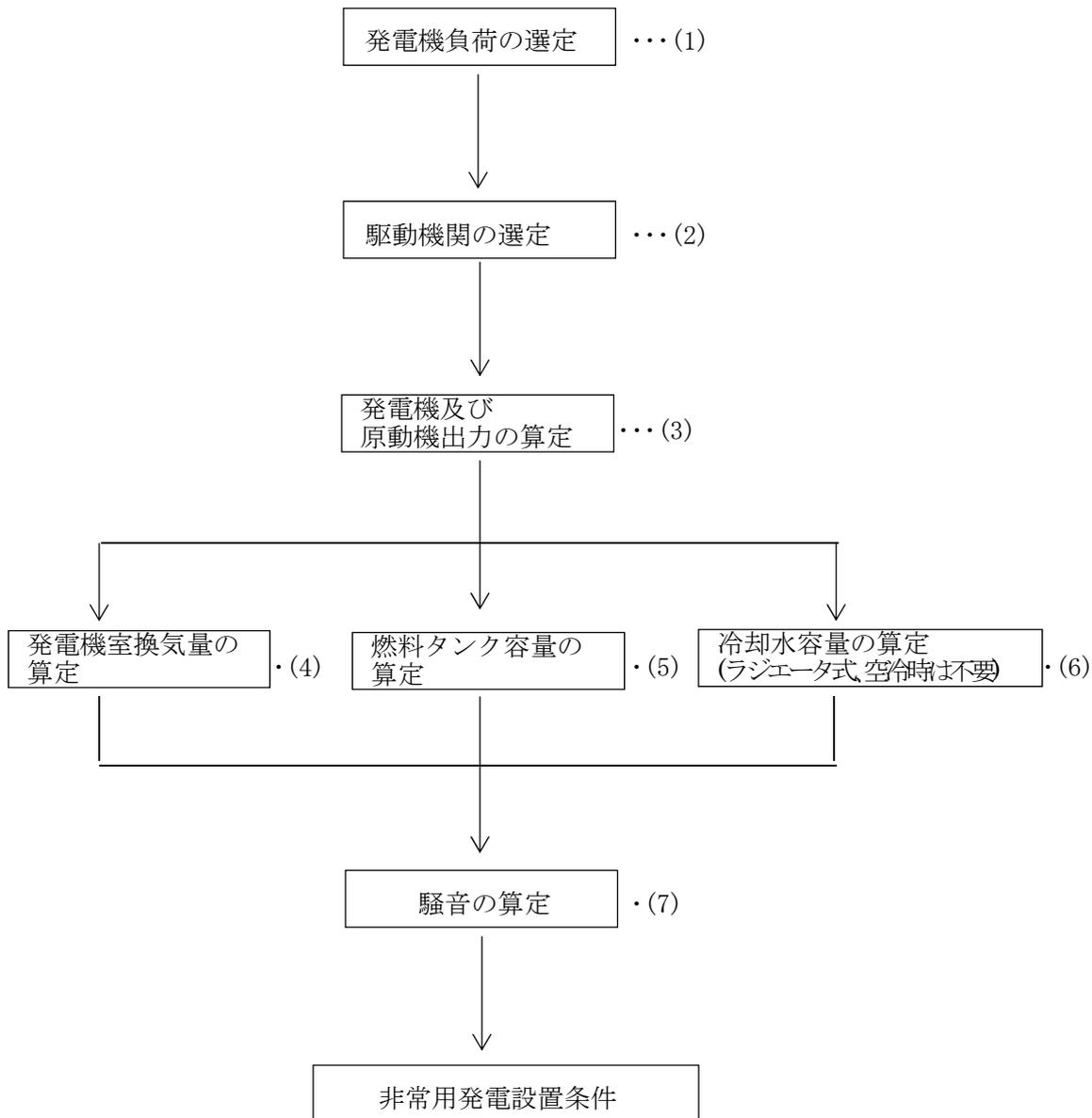


図3.4-21 非常用発電装置の選定フローチャート

(1) 発電機負荷の選定

非常用発電装置の場合には、負荷全部を満足するものであれば当然問題ないが、発電機設備の台数・容量ともに大きなものが要求され過剰投資となるので、停電時の負荷の重要度を考慮して発電機に接続する負荷を選択しなければならない。

保安用照明設備容量は、停電中も保安業務が必要な施設、棟を対象として電灯設備容量の30〔%〕程度を見込む。ただし、自家発電専用の照明回路を計画した場合は、別途考慮する。

(2) 駆動機関の選定

非常用発電装置の駆動機関としては、農業農村整備事業用では、数10 [kVA] ～300 [kVA] 位までのディーゼル機関が多く採用されている。すなわち、急速始動特性と経済性に加えて、シリンダ数を増減させて広出力域を容易にシリーズ化できるからである。

また、最近の中大容量のガスタービン機関の進歩には目ざましいものがあり、非常用発電装置の分野にも振動が少なく、冷却水が不要等という特徴を生かし採用されてきている。

今後、原動機の選定に当たってはその特色(表3.4-3)を考え、採用を検討する必要がある。

(3) 発電機及び原動機出力の算定

発電機及び原動機出力は、日本内燃力発電設備協会規格「自家発電設備の出力算定方法」NEGA C 201-2015及びNEGA D 201-2015を参考にして、算定する。

(a) 発電設備の負荷として接続する各負荷機器の出力総和の算出

(1) 負荷出力合計(K)の算出

負荷出力合計: K (kW)は、発電設備の負荷として接続する各負荷機器の出力(mi)の総和であり、算出は次式による。それぞれのmiについては、1)～5)に示す負荷機器の出力(mi)算出方法による。

$$K = \sum_{i=1}^n mi$$

mi : 個々の負荷機器の出力 (kW)

n : 負荷機器の個数

負荷機器の出力(mi)は、負荷機器の定格表示に応じて次により求める。

1) 誘導電動機等、定格が[kW]で表示されている機器

mi = 定格出力

- ・ポンプ、ファン等の駆動用電動機は、汎用の低圧のかご形誘導電動機が使われている。この場合、電動機の銘板に示されている定格出力をmiとする。
- ・インバータ制御方式可変速度電動機及び巻線電動機も同じ扱いとする。

2) 整流装置(直流電源設備)

$$mi = \frac{V \times A}{1000}$$

V : 直流側の定格電圧 (均等) (V)

A : 直流側の定格電流 (A)

- ・直流電源設備の銘板には、直流側の定格電圧(均等)と定格電流値が明示されているので、これらの積を定格出力(kW)とする。
- ・整流装置の形式(单相、三相 6 パルス、三相 12 パルス)を確認する。

3) 定格出力が [kVA] で表示されている機器(無停電電源設備)

$$m_i = C_i \times \cos \theta_i$$

$C_i$  : 定格出力 (kVA)

$\cos \theta_i$  : 定格負荷力率

通常の場合は、表 3.4-9 に示す力率を用いることができる。

- ・無停電電源設備の銘板には、定格出力値(kVA)が示されている。
- ・整流装置の形式(单相、三相 6 パルス、三相 12 パルス)を確認する。

4) 白熱灯、蛍光灯

$$m_i = \text{定格消費電力 (定格ランプ電力)}$$

- ・白熱灯は、定格消費電力、蛍光灯は、定格ランプ電力とする。
- ・電灯(照明器具)は、管球に表示されているワット数が入力 kW であり、これを定格出力として扱う。
- ・電熱負荷、单相負荷一般等は、機器の銘板記載のワット数が入力 kW であり、これを定格出力として扱う。
- ・单相入力、三相入力の区別を確認する。

5) 差込負荷(コンセント類)

$$m_i = \sum_{i=1}^n L_i$$

$L_i$  : コンセント(单相)の定格電圧 (kV)×定格電流 (A) 通常は、コンセント一箇所に付き、100V、15A とする。

6) スコット変圧器

$$m_i = \text{接続する負荷の定格出力 ( kW )}$$

表3.4-9 発電設備の出力算定用効率・効率

負荷種別		力率 $\cos \theta$	効率 $\eta$	$\frac{1}{\eta \times \cos \theta}$
電灯差込負荷	発熱灯	1.00	1.00	1.00
	蛍光灯	0.80	1.00	1.25
	差込負荷	0.80	1.00	1.25
	電熱負荷	1.00	1.00	1.00
	単相負荷一般	0.90	0.90	1.23
直流電源設備	一般形	0.85	0.80	1.47
無停電電源設備		0.90	0.90	1.23
インバータ方式電動機		1.00	0.80	1.25
巻線形電動機		0.80	0.85	1.47
その他三相負荷		0.80	0.85	1.47
その他ベース負荷群		0.80	0.85	1.47

備考 無停電電源設備が冗長並列設置の場合は、 $K$ の算出の際に並列冗長係数： $(n-1)/n$  を乗じた $m_i$ によるものとする。なお、高調波発生負荷の出力 $R_i$ の算出の際は、並列冗長係数は1とする。

$$m_i = \frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \times \cos \theta_i$$

インバータ方式電動機の効率・力率は、電動機とインバータ装置の総合値とする。





表 3.4-12 負荷機器の始動方式別係数

負荷	記号	種類	始動方式	記号	出力範囲 kW (*4)	始動時定数																											
						始動瞬時					始動中																						
						RG2/RG3		RE2/RE3			RG2		RG3		RE2			RE3															
						ks	Z'm	ks	Z'm	cos θ s	ks	Z'm	ks	Z'm	ks	Z'm	cos θ s	ks	Z'm	cos θ s													
MLT	低圧電動機 (トップランナーモータ)	ラインスタート	L	①	1.000	0.120	1.000	0.120	0.600	0.000	0.650	1.000	0.650	0.000	0.650	0.750	1.000	0.650	0.750														
				②																0.500	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600						
				③																0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400		
				④																0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300		
		Y-Δ始動 (最大/次)	Y	①	0.333	0.120	0.333	0.120	0.600	0.667	0.120	0.667	0.120	0.667	0.120	0.600	0.667	0.120	0.600	0.667	0.120												
				②																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	
				③																		0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
				④																		0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
		Y-Δ始動 (その他)	Y	①	0.333	0.120	0.333	0.120	0.600	0.000	0.650	1.000	0.650	0.000	0.650	0.750	1.000	0.650	0.750	1.000	0.650												
				②																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	
				③																		0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
				④																		0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
		クローズドY-Δ始動 (最大/次)	YC	①	0.333	0.120	0.333	0.120	0.600	0.333	0.120	0.667	0.120	0.500	0.120	0.600	0.667	0.120	0.600	0.667	0.120												
				②																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	
				③																		0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
				④																		0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
		クローズドY-Δ始動 (その他)	YC	①	0.333	0.120	0.333	0.120	0.600	0.000	0.650	1.000	0.650	0.000	0.650	0.750	1.000	0.650	0.750	1.000	0.650												
				②																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	
③	0.400			0.400																		0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400		
④	0.300			0.300																		0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300		
リアクトル始動	R	①	0.700	0.120	0.490	0.120	0.600	0.000	0.120	0.700	0.120	0.000	0.120	0.600	0.490	0.120	0.600	0.490	0.120														
		②																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500			
		③																		0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400		
		④																		0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300		
コンドルファ始動	C	①	0.490	0.120	0.490	0.120	0.600	0.000	0.120	0.490	0.120	0.000	0.120	0.600	0.490	0.120	0.600	0.490	0.120														
		②																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500			
		③																		0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400		
		④																		0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400		
特殊コンドルファ始動	SC	①	0.250	0.120	0.250	0.120	0.400	0.000	0.120	0.420	0.120	0.000	0.120	0.400	0.490	0.120	0.600	0.490	0.120														
		②																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500			
		③																		0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400		
		④																		0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400		
連続電圧制御始動	VC	①	0.120	0.120	0.120	0.120	0.300	0.000	0.120	1.000	0.340	0.000	0.120	0.300	1.000	0.340	0.300	1.000	0.340														
		②																		0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300		
		③																		0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300		
		④																		0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300		
誘導電動機	ML0	低圧電動機 (トップランナーモータ以外)	ラインスタート	L	1.000	0.140	1.000	0.140	0.700	0.000	0.680	1.000	0.680	0.000	0.680	0.800	1.000	0.680	0.800														
																				②	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600		
																				③	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500		
																				④	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400		
			Y-Δ始動 (最大/次)	Y	①	0.333	0.140	0.333	0.140	0.700	0.667	0.140	0.667	0.140	0.667	0.140	0.700	0.667	0.140	0.600	0.667	0.140											
					②																		0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
					③																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
					④																		0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
			Y-Δ始動 (その他)	Y	①	0.333	0.140	0.333	0.140	0.700	0.000	0.680	1.000	0.680	0.000	0.680	0.800	1.000	0.680	0.800	1.000	0.680											
					②																		0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
					③																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
					④																		0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
			クローズドY-Δ始動 (最大/次)	YC	①	0.333	0.140	0.333	0.140	0.700	0.333	0.140	0.667	0.140	0.500	0.140	0.600	0.667	0.140	0.600	0.667	0.140											
					②																		0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
					③																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
					④																		0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
			クローズドY-Δ始動 (その他)	YC	①	0.333	0.140	0.333	0.140	0.700	0.000	0.680	1.000	0.680	0.000	0.680	0.800	1.000	0.680	0.800	1.000	0.680											
					②																		0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
③	0.500	0.500			0.500																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500			
④	0.400	0.400			0.400																		0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400			
リアクトル始動	R	①	0.700	0.140	0.490	0.140	0.700	0.000	0.140	0.700	0.140	0.000	0.140	0.700	0.490	0.140	0.600	0.490	0.140														
		②																		0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600			
		③																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500			
		④																		0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400			
コンドルファ始動	C	①	0.490	0.140	0.490	0.140	0.700	0.000	0.140	0.490	0.140	0.000	0.140	0.700	0.490	0.140	0.600	0.490	0.140														
		②																		0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600			
		③																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500			
		④																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500			
特殊コンドルファ始動	SC	①	0.250	0.140	0.250	0.140	0.500	0.000	0.140	0.420	0.140	0.000	0.140	0.500	0.490	0.140	0.600	0.490	0.140														
		②																		0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600			
		③																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500			
		④																		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500			
連続電圧制御始動	VC	①	0.140																														

(b) 発電機出力の算定

発電機出力は、次式により算出する。

$$G = RG \times K$$

ここに、G : 発電機出力 (kVA)

RG : 発電機出力係数

(1) 「発電機出力係数」による

K : 負荷出力合計 (kW)

(1) 発電機出力係数

発電機出力係数(RG)は、次の①～④の係数をそれぞれ求めて、その内の最も大きな値を採用する。

① RG<sub>1</sub> : 定常負荷出力係数

発電機出力端における定常時負荷出力電流によって定まる係数

② RG<sub>2</sub> : 許容電圧降下出力係数

電動機等の始動によって生ずる発電機出力端電圧降下の許容値によって定まる係数

③ RG<sub>3</sub> : 短時間過電流耐力出力係数

発電機出力端における過渡的負荷電流の最大値によって定まる係数

④ RG<sub>4</sub> : 許容逆相電流出力係数

負荷の発生する逆相電流、高調波電流分の関係等によって定まる係数

① RG<sub>1</sub> の算出

$$RG_1 = 1.47 \times D \times Sf$$

D : 負荷の需要率

Sf : 不平衡負荷による線電流の増加係数で次式による。

$$Sf = 1 + 0.6 \times \left( \frac{\Delta P}{K} \right)$$

ΔP : 単相負荷不平衡分合計出力値 (kW)

三相各線間に単相負荷出力値 A、B 及び C (kW)があり、  
A ≥ B ≥ C の場合

$$\Delta P = A + B - 2 \times C$$

K : 負荷出力合計 (kW)

なお、(ΔP/K)が 0.3 より大きい場合は、Sf は次式により求める。

$$Sf = \sqrt{1 + \frac{\Delta P}{K} + \frac{\Delta P^2}{K^2} \times (1 - 3 \times u + 3 \times u^2)}$$

u : 単相負荷不平衡係数

$$u = (A - C) / \Delta P$$

② RG<sub>2</sub> の算出

$$RG_2 = \frac{1 - \Delta E}{\Delta E} \times Xd'g \times \frac{ks}{Z'm} \times \frac{M_2}{K}$$

$\Delta E$  : 発電機出力端許容電圧降下(PU (自己容量ベース))

発電機始動時の電動機端での電圧降下を 30%におさえることとし、幹線等の電圧降下を 10%と想定して発電機出力端での許容電圧降下を 20%とする。したがって、 $\Delta E = 0.2$ とする。

$Xd'g$  : 負荷投入時における電圧降下を評価したインピーダンス (PU)

$Xd'g = 0.25$ とする。

$ks$  :  $M_2$ の始動方式による係数

$Z'm$  :  $M_2$ の始動時インピーダンス (PU)

$M_2$  : 始動時の電圧降下が最大となる負荷機器の出力 (kW)

$K$  : 負荷出力合計 (kW)

③ RG<sub>3</sub> の算出

$$RG_3 = \frac{fv_1}{KG_3} \times \left\{ 1.47 \times d_3 + \left( \frac{ks}{Z'm} - 1.47 \times d_3 \right) \times \frac{M_3}{K} \right\}$$

$fv_1$  : 瞬時回転速度低下、電圧降下による投入負荷減少係数

$fv_1 = 1.0$ とする。

$d_3$  :  $M_3$ 投入時のベース負荷の需要率

$KG_3$  : 発電機の短時間過電流耐力 (PU)

JEM 1354-2003 により、150%、30 秒としていることから

$KG_3 = 1.5$ とする。

$ks$  :  $M_3$ の始動方式による係数

$Z'm$  :  $M_3$ の始動時インピーダンス (PU)

$M_3$  : 短時間過電流耐力を最大とする負荷機器の出力 (kW)

$K$  : 負荷出力合計 (kW)

④  $RG_4$ の算出

$$RG_4 = \frac{1}{K} \times \frac{1}{KG_4} \times \sqrt{(H - RAF)^2 + (1.47 \times \Delta P)^2 \times (1 - 3 \times u + 3 \times u^2)}$$

K : 負荷出力合計 (kW)

$KG_4$  : 発電機の許容逆相電流による係数 (PU)

一般仕様の場合は、JEM 1354-2003 より、 $KG_4 = 0.15$ とする。

H : 高調波電力合成値(kVA) 次式による。

$$H = hb \times \sqrt{(0.355 \times R_6)^2 + \{(0.606 \times R_3 + 0.656 \times R_1) \times hph\}^2}$$

hb : 高調波の分流係数 次式による。

$$hb = \frac{1.3}{(2.3 - R/K)}$$

R : 高調波発生機器の出力合計 (kW)

$R_6$  : 12パルス整流機器の合計出力値 (kW)

$R_3$  : 6パルス整流機器の合計出力値 (kW)

$R_1$  : 単相全波整流機器の合計出力値 (kW)

hph : 移相補正係数(多重化効果による)

多重化無しの場合は $hph = 1.0$ とし、実施した場合は次式による。

$$hph = 1.00 - 0.413 \times \frac{RB}{RA}$$

RA、RB : 電源移相別高調波発生機器の出力合計 (kW)

$RA \geq RB$  とする。

RAF : アクティブフィルタ効果容量 (kVA) 次式による。

アクティブフィルタの定格容量を ACF (kVA)とすると、

$$H \cdot ACF \geq 0 \text{ の場合 } RAF = 0.800 \times ACF$$

$$H - ACF < 0 \text{ の場合 } RAF = 0.800 \times H$$

$\Delta P$  : 単相負荷不平衡分合計出力値 (kW)

次式による。

三相各線間に単相負荷出力値 A、B 及び C (kW)があり、

$A \geq B \geq C$  の場合

$$\Delta P = A + B - 2 \times C$$

u : 単相負荷不平衡係数 次式による。

$$u = (A - C) / \Delta P$$

(2) RGの値の調整

前項で求めたRGの値が、1.47 Dの値に比べて著しく大きい場合には、対象負荷とバランスのとれた、RG値を選定できるよう調整する。

① RG値の実用上望ましい範囲

$$1.47 D \leq RG \leq 2.2$$

②  $RG_2$  又は $RG_3$ により過大な RGの値が算出されている場合

始動方式の変更を行い、上記 ① の範囲を満足するようにする。

③  $RG_4$ により過大な RGの値が算出されている場合

特別な発電機を選定し、上記 ① の範囲を満足するようにする。

(3) 発電機出力の決定

発電機定格出力は、 $RG \times K$  (kVA) 以上とする。ただし、 $RG \times K$  (kVA)の値の95% 以上の標準定格値のものがある場合は、それを選ぶことができる。(表 3.4-13 参照)

表 3.4-13 発電機効率 (JEM 1435:2014 抜粋)

定格出力		規約効率 2~8 極	定格出力		規約効率 2~8 極 ( )数値は 10 極
(kVA)	(kW)		(kVA)	(kW)	
20	16	0.770	150	120	0.870
37.5	30	0.807	200	160	0.879
50	40	0.823	250	200	0.889
62.5	50	0.834	300	240	0.895
75	60	0.843	375	300	0.903
100	80	0.855	500	400	0.910
125	100	0.864	625	500	0.917 (0.911)
			750	600	0.921 (0.915)

注) 年間運転時間が 1,000 時間以下の発電機は、JEM 1435:2014 を適用、  
1,000時間を超える発電機は、JEM 1354:2014を適用する。

(c) 原動機出力の算出

原動機（ディーゼル機関、ガスタービン）は、下記の使用条件とする。

大気圧：100 kPa      大気温度：25 °C      相対湿度：30 %

参考：土地改良計画設計基準「ポンプ場」・技術書 6.2.2 主原動機の出力の標準大気条件より

原動機出力は、次式により算出する。

$$E = RE \times K \times Cp$$

- E : 原動機出力 (kW)
- RE : 原動機出力係数
- K : 負荷出力合計 (kW)
- Cp : 原動機出力補正係数 表 3.4-14 による。

表 3.4-14 原動機出力補正係数 (Cp)

発電機出力 G	原動機出力補正係数(Cp)
37.5(kVA)未満	1.200
37.5(kVA)以上 100(kVA)未満	1.125
100(kVA)以上 375(kVA)未満	1.080
375(kVA)以上	1.000

(1) 原動機出力係数

RE(原動機出力係数)は、次の 1)~3)の 3つの係数をそれぞれ求め、その内の最も大きな値を採用する。

なお、RE の算出は、次の「RE の算出」による。

- 1) RE<sub>1</sub> : 定常負荷出力係数  
定常時の負荷によって定まる係数
- 2) RE<sub>2</sub> : 許容回転速度変動出力係数  
過渡的に生ずる負荷急変時に対する回転速度変動の許容値によって定まる係数
- 3) RE<sub>3</sub> : 許容最大出力係数  
過渡的に生ずる最大値によって定まる係数

1) RE<sub>1</sub> の算出

$$RE_1 = 1.3 \times D$$

D : 負荷の需要率

2) RE<sub>2</sub> の算出

① ディーゼル機関

$$RE_2(DE) = fv_2 \left\{ 1.026 \times d'_2 \times \left( 1 - \frac{M'_2}{K} \right) + \frac{1.163}{\varepsilon} \times \frac{ks}{Z'_m} \times \cos \theta_s \times \frac{M'_2}{K} \right\}$$

$$= fv_2 \left\{ 1.026 \times d'_2 + \left( \frac{1.163}{\varepsilon} \times \frac{ks}{Z'_m} \times \cos \theta_s - 1.026 \times d'_2 \right) \times \frac{M'_2}{K} \right\}$$

② ガスタービン

$$RE_2(GT) = fv_2 \times \left\{ \frac{1.163}{\varepsilon} \times \frac{ks}{Z'_m} \times \cos \theta_s \times \frac{M'_2}{K} \right\}$$

fv<sub>2</sub> : 瞬時回転速度低下、電圧降下による投入負荷減少係数

エレベータがある場合はfv<sub>2</sub> = 0.9, ない場合は、fv<sub>2</sub> = 1.0とする。

ε : 原動機無負荷時投入許容量 (PU (自己容量ベース)) 表 3.4-15 による。

d'<sub>2</sub> : M'<sub>2</sub>投入時のベース負荷の需要率

ks : M'<sub>2</sub>の始動方式による係数

Z'<sub>m</sub> : M'<sub>2</sub>の始動時インピーダンス (PU)

cos θ<sub>s</sub> : M'<sub>2</sub>の始動時力率

M'<sub>2</sub> : 負荷投入時の回転速度変動が最大となる負荷機器の出力 (kW)

K : 負荷出力合計 (kW)

表 3.4-15 原動機の無負荷時投入許容量(ε)

発電装置出力(kW)	原動機の種類 ディーゼル 機関	ガスタービン	
		一軸型	二軸型
125 以下	1.0		
125 を超え 250 以下	0.8	1.0	
250 を超え 400 以下	0.7	1.0	
400 を超え 800 以下	0.6	1.0	0.75
800 を超え 3000 以下	0.5	1.0	0.7

3) RE<sub>3</sub> の算出

$$RE_3 = \frac{fv_3}{\gamma} \times \left\{ 1.368 \times d'_3 \times \left( 1 - \frac{M'_3}{K} + 1.163 \times \frac{ks}{Z'm} \times \cos \theta_s \times \frac{M'_3}{K} \right) \right\}$$

$$= \frac{fv_3}{\gamma} \left\{ 1.368 \times d'_3 + \left( 1.163 \times \frac{ks}{Z'm} \times \cos \theta_s - 1.368 \times d'_3 \right) \times \frac{M'_3}{K} \right\}$$

fv<sub>3</sub> : 瞬時回転速度低下、電圧降下による投入負荷係数

fv<sub>3</sub> = 1.0とする。

γ : 原動機の短時間最大出力 (PU)

γ = 1.1とする。

d'<sub>3</sub> : M'<sub>3</sub>投入時のベース負荷の需要率

ks : M'<sub>3</sub>の始動方式による係数

Z'm : M'<sub>3</sub>の始動時インピーダンス (PU)

cos θ<sub>s</sub> : M'<sub>3</sub>の始動時力率

M'<sub>3</sub> : 負荷投入時に原動機出力が最大となる負荷機器の出力 (kW)

K : 負荷出力合計 (kW)

(2) REの値の調整

前項で求めたREの値が、1.3 Dの値に比べて著しく大きい場合には、対象負荷とバランスのとれた、RE値を選定できるよう調整する。

① RE値の実用上望ましい範囲

$$1.3 D \leq RE \leq 2.2$$

② RE<sub>2</sub> 又はRE<sub>3</sub>により過大な REの値が算出されている場合

始動方式の変更を行い、上記 ① の範囲を満足するようにする。

(d) 発電機出力及び原動機出力の整合

上記で算出された、発電機出力及び原動機出力を、次式に示す整合率 (MR) で確認して、当該値が、1 以上になっていることが必要である。また、適切な組み合わせとしては、当該値が、1.5 未満としておくことが望ましい。

なお、整合率が 1 未満の場合にあっては、原動機出力の見直しを行い、当該出力の割増を行うことにより、1 以上とする。

$$MR = 1.13 \times \frac{E}{G \times Cp}$$

MR : 整合率

E : 原動機出力 (kW)

G : 発電機出力 (kVA)

Cp : 原動機出力補正係数

表 3.4-16 原動機出力補正係数(Cp)

発電機出力 G	原動機出力補正係数(Cp)
37.5(kVA)未満	1.200
37.5(kVA)以上 100(kVA)未満	1.125
100(kVA)以上 375(kVA)未満	1.080
375(kVA)以上	1.000

(4) 発電機室換気量の算定

発電機室に必要な換気量は、機関へ供給する燃料が完全に燃焼するのに必要な空気量と、設備機器から発生する熱量によって上昇する室温を一定温度に抑えるために必要な換気空気量、それに運転員の換気量を加えたものであり、したがって概略次式で求めることができる。

また、エンジンポンプと同一室内で計算する場合や詳細に計算を行う場合には「土地改良事業計画設計基準設計(ポンプ場)」(平成30年5月)を参照すること。

$$\text{総必要換気量 } Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \text{ [m}^3/\text{min]} \quad \text{式3.4-11}$$

ただし、 $Q_1$  : 機関の燃焼に必要な空気量

$Q_2$  : 室温上昇を抑えるために必要な空気量

$Q_3$  : 運転員1人当りの換気量

今までに設置された例から必要とする給気量を調査したところ概略次の値が一般的である。

$$\left. \begin{array}{l} \text{機関燃料燃焼用空気} \quad \text{約 } 4 \text{ [Nm}^3/\text{PS} \cdot \text{h]} \\ \text{換気用空気} \quad \quad \quad \text{約 } 25 \text{ [Nm}^3/\text{PS} \cdot \text{h]} \end{array} \right\} \text{約 } 29 \text{ [Nm}^3/\text{PS} \cdot \text{h]}$$

ただし、室温上昇は10 [°C] 以内、Nm<sup>3</sup>は0 [°C] 1気圧におけるm<sup>3</sup>を示す。

詳細検討のため次式に各々必要とする空気量の求め方について記述する。

(a) ディーゼル機関の燃焼に必要な空気量 ( $Q_1$ )

$$Q_1 = \frac{L_{\min} \times b \times \lambda \times P S}{60 \times \rho} \text{ [m}^3/\text{min]} \quad \text{式3.4-12}$$

ただし、 $L_{\min}$  : 燃料の理論空気量 [m<sup>3</sup>/kg]

(軽油は14.22、重油は13.86)

$b$  : 燃料消費率 [kg/PS・h] (表3.4-18)

$\lambda$  : 空気過剰量 (無過給機関 : 2.0、過給機関 : 2.5)

$P S$  : 機関の出力

$\rho$  : 空気密度 [kg/m<sup>3</sup>]

(101.3 [kPa]、30 [°C] で1.165 [kg/m<sup>3</sup>])

(b) 室温上昇を抑えるために必要な空気量 ( $Q_2$ )

「ディーゼル機関」

ラジエータ冷却方式の場合

$Q_2$  = ラジエータファン風量 [ $m^3/min$ ]

水槽冷却方式の場合

$$Q_2 = \frac{PS \times b \times H_u \times f + kVA \times \cos \theta \times 860 \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right)}{60 \times t \times C_{pa} \times \rho} \quad [m^3/min] \quad \text{式3.4-13}$$

- ただし、 P S : 機関出力 [PS]  
 b : 燃料消費率 [kg/PS $\cdot$ h] (表3.4-18)  
 H<sub>u</sub> : 燃料の低位発熱量 [kcal/kg]  
 (軽油は10200、重油は10100)  
 f : 機関放熱率 (通常0.03)  
 k V A : 発電機出力 [kVA]  
 cos  $\theta$  : 発電機の定格力率 (0.8)  
 $\eta$  : 発電機効率(表3.4-13)  
 t : 発電機室の許容温度上昇値 [°C]  
 (運転時の最高許容室内温度から初期温度を差引いた値)  
 C<sub>pa</sub> : 乾燥空気の定圧比率 [kcal/kg $\cdot$ °C]  
 (101.3 [kPa]、30 [°C] で0.241 [kcal/kg $\cdot$ °C] )  
 $\rho$  : 空気密度 [kg/m<sup>3</sup>]  
 (101.3 [kPa]、30 [°C] で1.165 [kg/m<sup>3</sup>] )

「ガスタービン機関」

$$Q_2 = \frac{A_r + Q_r + kVA \times \cos \theta \times 860 \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right)}{60 \times t \times C_{pa} \times \rho} \quad [m^3/min] \quad \text{式3.4-14}$$

- A<sub>r</sub> : 熱放熱係数 (一般に0.5)  
 Q<sub>r</sub> : エンジン放熱量 [kcal/h] (メーカーカタログ値等による)  
 k V A : 発電機出力 [kVA]  
 cos  $\theta$  : 発電機の定格力率 (0.8)  
 $\eta$  : 発電機効率(表3.4-13)  
 t : 発電機室の許容温度上昇値 [°C]  
 (運転時の最高許容室内温度から初期温度を差引いた値)  
 C<sub>pa</sub> : 乾燥空気の定圧比率 [kcal/kg $\cdot$ °C]  
 (101.3 [kPa]、30 [°C] で0.241 [kcal/kg $\cdot$ °C] )  
 $\rho$  : 空気密度 [kg/m<sup>3</sup>]  
 (101.3 [kPa]、30 [°C] で1.165 [kg/m<sup>3</sup>] )

### 第3章 機器の選定

(c) 運転員1人当りの換気量 ( $Q_3$ )

$$Q_3 = 0.5 \text{ [m}^3/\text{min]}$$

#### (5) 燃料タンク容量の算定

ディーゼル機関に使用する燃料はJIS規格により軽油若しくはA重油を使用することが決められているが、燃料消費量Fは一般に次式で求める。

$$F = \frac{b \times P S}{r} \text{ [L/h]} \quad \text{式3.4-15}$$

又は、

$$F = \frac{b \times k V A \times \cos \theta}{0.736 \times \eta_G \times r} \text{ [L/h]} \quad \text{式3.4-16}$$

ただし、 $b$  : 燃料消費率 [kg/PS・h] (表3.4-18)  
 $P S$  : 機関の出力 [PS]  
 $r$  : 燃料油の比重 (表3.4-17)  
 $k V A$  : 発電機出力 [kVA]  
 $\cos \theta$  : 発電機の定格力率 (0.8)  
 $\eta_G$  : 発電機効率 (表3.4-13)

農業農村整備事業のダム施設においては停電時等のダムまでの操作員到着に要する時間、燃料の輸送経路等を考慮して決定する必要があるが、一般に72時間以上運転可能な燃料タンク容量を採用している場合が多い。ポンプ、頭首工施設においては、2時間以上運転可能とする場合が多くエンジンポンプが設置してある場合は、エンジンポンプの運転可能時間の燃料タンク容量を選択するが、いずれの場合にあっても燃料の入手難易度及び消防法の指定数量等も十分に考慮し燃料タンク容量を検討する。燃料タンク容量Gは式3.4-17で求める。

また、表3.4-19に各技術書、指針による発電機の運転時間、表3.4-20に各施設におけるタンク容量の考え方の例を示す。

$$G = F \times h \text{ [L]} \quad \text{式3.4-17}$$

ただし、 $G$  : 燃料タンク容量 [L]  
 $F$  : 燃料消費量 [L/h] (式3.4-15) 又は(式3.4-16)  
 $h$  : 発電機必要運転時間 [h]

燃料の種類は、貯油槽などでの設置上の制約がない限り、入手しやすさ及び始動性の良いということをも重視して選定する。表3.4-17 軽油とA重油の比較を示す。

表3.4-17 軽油と重油の比較

	軽油	A重油
規格	JIS K 2204(2007)	JIS K 2205(2006)
発生熱量 [kcal/kg]	10,300~10,500	10,000~10,200
理論空気量 [m <sup>3</sup> /kg]	14.22	13.86
比重	0.83	0.85
硫黄分	0.5 [%w t] 以下	2 [%w t] 以下
流動点	-30~+5 [°C] 以下	5 [°C] 以下
消防法による指定数量	1000リットル	2000リットル

表3.4-18 燃料消費率

単位 [kg/PS・h]

原動機出力 〔PS〕		30以下	30を超え 250以下	250を超え 450以下	450を超え 750以下	750を超える もの
燃料消費率	ディーゼル機関	0.23	0.22	0.20	0.18	0.17
	ガスタービン	—	0.50	0.48	0.43	0.38

表3.4-19 技術書・指針による発電機運転時間

図書名	発行者	発電機連続運転時間	備考
土地改良事業計画設計基準 ポンプ場 基準書 技術書	(農林水産省農村振興局)	1回の計画基準降雨時の ポンプ運転時間	
ダム・堰施設技術基準(案) 電気・制御設備設計マニュアル	(一社)ダム・堰施設技術協会	72時間	
揚排水ポンプ設備技術基準・ 同解説	(一社)河川ポンプ施設技術協会	燃料補給なしで、計画排水運転する 時間	
電気通信施設設計要領	(一社)建設電気技術協会	72時間	

表3.4-20 各施設におけるタンク容量の考え方の例

地区名	施設名	発電機定格出力	燃料タンク容量	タンク容量の考え方
A地区	ダム	75 kVA	390 L	15時間容量(12時間+ダムまでの所要交通時間0.5時間+余裕2.5時間)
B地区	排水機場	100 kVA	18,000 L	洪水時用ポンプを連続150時間、発電機を連続5時間以上運転できる容量
C地区	排水機場	375 kVA	15,000 L	燃料タンクは、ポンプ駆動用エンジン分を含み、発電機としては24時間容量(国土交通省との兼用工作物)(余裕1.2~1.3を考慮)

(6) 冷却水容量の算定

冷却水の系統は主に必要な冷却水量とこれらの調達度によって決まる。特に非常用発電装置のように、運転時間が短い場合は必然的にその方法が定まる。

また、機関への冷却水補給量は一般に次式で示す値とする。

$$\text{冷却水補給量 } W = \frac{Q_w}{t_2 - t_1} = \frac{\mu_w \times H_u \times b \times P S}{t_2 - t_1} \quad [\text{L/h}]$$

- ただし、 $Q_w$  : 冷却水が吸収する熱量
- $t_2$  : 冷却水の出口温度 [°C]
- $t_1$  : 冷却水の入り口温度 [°C]
- $\mu_w$  : 冷却損失 (0.25から0.3)
- $H_u$  : 燃料の低位発熱量 [kcal/kg]
- $b$  : 燃料消費率 [kg/PS・h]
- $P S$  : 機関の出力 [PS]

(7) 騒音計算

発電機の設置される地域の騒音規制法の規制に関する基準に準拠し、施設の敷地境界線における騒音レベルが規定値以下となるようにする。

騒音規制法（昭和43年法律第98号）第2条第1項に規定する特定施設（通産局規制の原動機を含む）を設置する発電設備等は、同法第3条第1項の規定により指定された地域内にあるものにおいて発生する騒音は、同法第4条第1項又は第2項に規定する規制基準に適合しなければならない。

なお、ポンプ場等の施設場所が無指定区域である場合の騒音対策は、現場条件等を考慮のうえ決定するものとする。

表3. 4-21 特定工場等において発生する騒音の規制に関する基準

区域 の区分	時間の 区分	昼間 [dB(A)]	朝夕 [dB(A)]	夜間 [dB(A)]	区域の定義
第1種区域		45以上 50以下	40以上 45以下	40以上 45以下	良好な住居の環境を保全するため、特に静穏の保持を必要とする区域
第2種区域		50以上 60以下	45以上 50以下	40以上 50以下	住居の用に供されるため、静穏の保持を必要とする区域
第3種区域		60以上 65以下	55以上 65以下	50以上 55以下	住居の用に合わせて、商業工業等の用に供される全区域であって、その区域内の住民の生活環境を保全するため、騒音の発生を防止する必要がある区域
第4種区域		65以上 70以下	60以上 70以下	55以上 65以下	主として工業等の用に供される区域であってその区域内の住民の生活環境を悪化させないため、著しい騒音の発生を防止する必要がある区域

各都道府県とも、騒音防止条例のなかで、上乘せ基準を制定している場合があるので、確認する必要がある。（上乘せ基準は、騒音防止法による規制基準値より5〔dB〕規制を強化）

### 第3章 機器の選定

音源（音を発生する所）から距離が遠くなればなるほど次第に小さくなる。

音源が点音源と考えられる場合、K [m] の地点の音圧の差理論値  $\Delta L$  は、次式で表すことができる。

$$\Delta L = 20 \log_{10} K \text{ [dB]} \quad (\text{理論式})$$

ここで、

K : 音源から敷地境界線までの距離 [m]

実際には、音源の大きさ、風、付近の状況等により計算値の0.5~0.7程度の減衰量となる。

したがって、次式に示す図3.4-22の線が近似値となる。

$$\Delta L = 15 \log_{10} K \text{ [dB]}$$

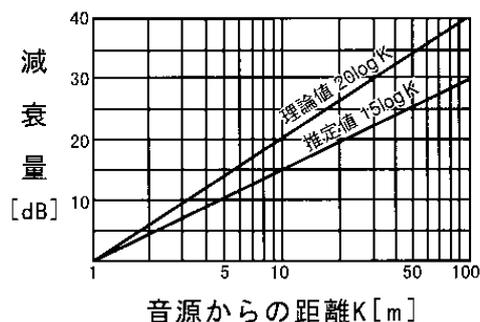


図3.4-22 距離による騒音の減衰値

音源からの距離と騒音の減衰値を表3.4-22に示す。

表3.4-22 音源からの距離と騒音の減衰値

K	2 [m]	4 [m]	8 [m]	10 [m]	20 [m]	40 [m]
$\Delta L$	4.5	9	13.5	15	19.5	24

計算例) 排気消音器出口より境界線までの距離が50 [m] の場合の境界線上における騒音値は、消音器出口を90 [dB] とすると、

$$\begin{aligned} \text{境界線上の騒音} &= 90 - 15 \log_{10} 50 \\ &\approx 90 - 25 \\ &= 65 \text{ [dB(A)]} \end{aligned}$$

となる。

### 3.5 直流電源装置

#### 3.5.1 直流電源装置の必要性

直流電源装置は、常用電源（電力会社からの買電）が停電した場合などの非常時に、常用電源に代わって負荷設備に電力を供給するための電源装置である。

一般に、受変電設備、自家発設備、負荷設備等の監視、制御用、計装用、非常照明用、機関始動用の電源として用いられる。表 3.5-1 に直流電源の電圧と使用例を示す。

表 3.5-1 直流電源の電圧と使用例

No.	用途	電圧 [V]	備考
1	受変電設備	DC100	しゃ断器操作他
2	自家発電設備	DC24/48	エンジン始動用
3	非常照明設備	DC100	
4	エンジンポンプ設備	DC100	ディーゼル機関用電磁弁、制御回路
5	(監視、制御、計装設備)	(AC100)	(UPS)

#### (1) 受変電設備

直流電源装置は、遮断器の操作や盤面のランプ表示等、受変電設備の制御、保護、警報表示の電源として使用されることもあるが、本指針における受変電設備は図 3.5-1 に示すように、受電遮断器一次側に取付けた操作用変圧器により電源を取り出す方式を標準としているため、受変電設備としては直流電源装置は不要である。

操作用変圧器方式においては操作用変圧器二次側 AC 100 [V] を制御、表示用電源とし、整流器 (S I) を設置して DC 100 [V] を遮断器の操作電源としている。

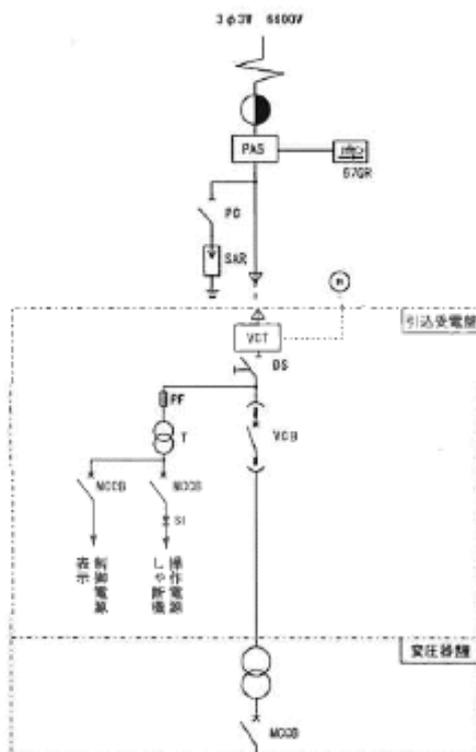


図 3.5-1

#### (2) 非常用発電装置

非常用発電装置が電気始動方式の場合、始動電源（通常DC24[V]を用いる。）として使用する。発電機盤等が一括して搭載された搭載型発電装置の場合は、製造者の標準仕様の蓄電池（一般的にMSEが使用されている場合が多い）が搭載されているが、比較的大容量（200[kVA]以上）の非常用発電装置は搭載型とならないため、単独の直流電源装置を設置する必要がある。

#### (3) 非常照明設備

電池別置型の誘導灯、非常灯などの電源（DC100[V]）として使用する設備の場合は、消防法の適用を受けたものを採用する必要がある。

#### (4) エンジンポンプ設備

エンジン駆動のポンプ設備制御電源（DC100[V]）には通常、直流電源装置が使用される。直流電源装置より電源が供給される回路は、エンジンポンプ補機の電磁弁、ポンプ制御用補助リレー回路等である。

また、エンジン始動方式が電気始動方式の場合は、制御用直流電源装置とは別にDC24[V]の始動用直流電源装置を用いる必要がある。

#### (5) 監視、制御、計装設備

小容量のため、ミニUPS（AC100[V]）を使用する。なお、ミニUPSは、高低圧受変電設備の範囲外であるため、ここでは解説しないものとする。

3.5.2 直流電源装置の構成

直流電源装置は蓄電池、充電器、負荷電圧調整装置からなり、単線結線図は図 3.5-2 のようになる。

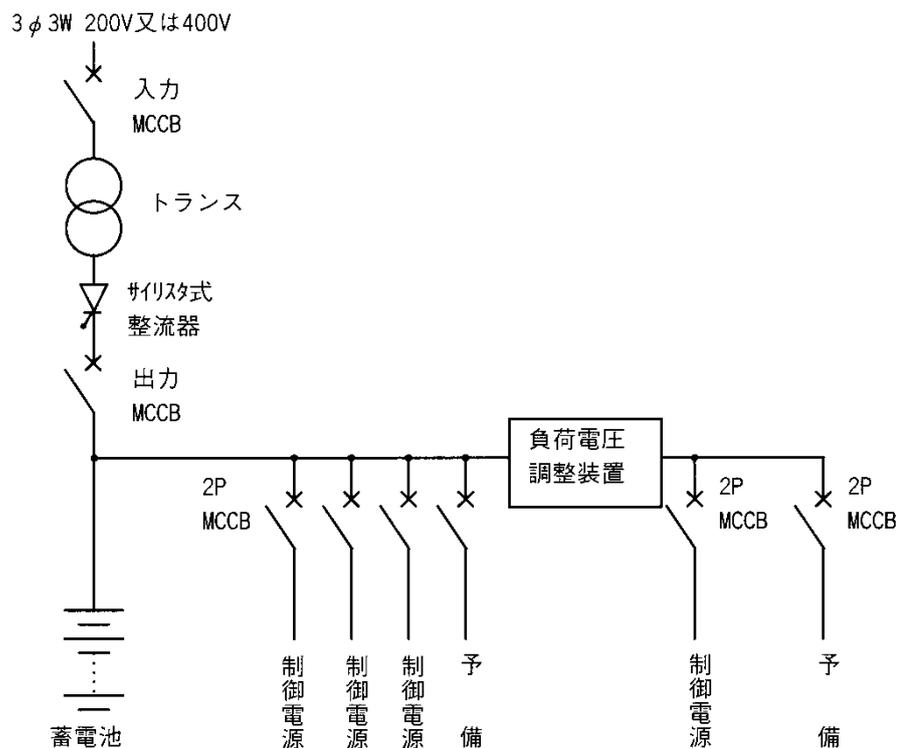


図 3.5-2 直流電源装置の単線結線図

3.5.3 蓄電池の種類と構造

受電設備で使用される蓄電池は、一般に据置型蓄電池と呼ばれ、酸性電解液（比重 1.21～1.24 程度の希硫酸）を使用した鉛蓄電池と、アルカリ性電解液（比重 1.20～1.23 程度の水酸化カリウム溶液）を使用したアルカリ蓄電池の 2 種類がある。鉛蓄電池、アルカリ蓄電池とも極板の構造・構成によって種類があり、また、電槽の構造によって分類される。

(1) 鉛蓄電池

据置型鉛蓄電池の種類は、充電中に発生するガスを回収する方法によりベント形、制御弁式に分かれ、また、正極板の違いによりクラッド式、ペースト式に分かれる。  
分類図は図 3.5-3 のようになる。

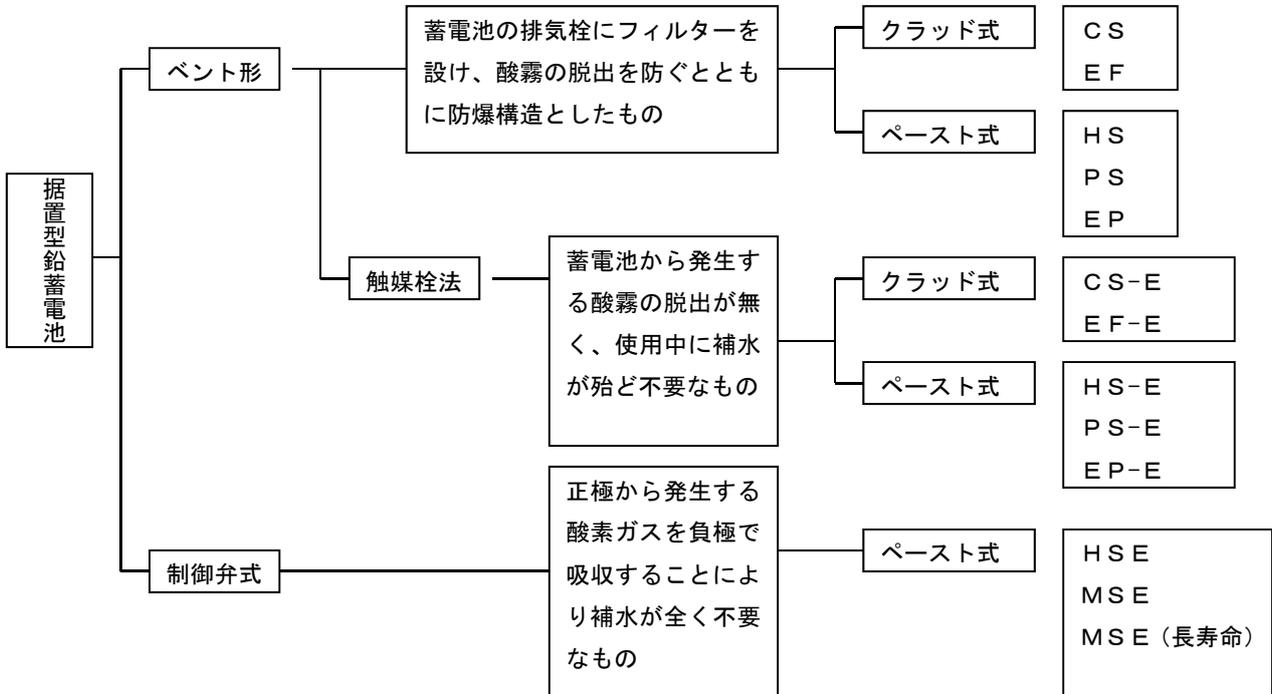


図 3.5-3 鉛蓄電池の分類

(a) クラッド式鉛蓄電池の構造

正極板は、中心に鉛合金製の芯金を有する耐酸性微孔チューブに正極作用物質を充てんした後、所要数配列し、芯金の上下端を一体に連結されている。

負極板は、鉛-アンチモン合金で鋳造した格子体に作用物質を充てんし、これを電気化学的に化成したペースト式極板で、クラッド式正極板との組合せに適するよう選定されている。

電槽は、耐酸性合成樹脂製の透明電槽で、内部の点検も容易にできる。

排気栓は、栓体に耐酸性微孔のフィルタを接合したもので、防爆、防まつ機能を備えている。

したがって、充電中などのガス発生時に火気を近づけても電池内に引火誘爆することがなくまた、外部に発散するガスには、ほとんど硫酸分を含まない。

クラッド式鉛蓄電池の極板の構造と外観写真を図 3.5-4 に示す。

(b) 高率放電用ペースト式鉛蓄電池の構造

正極板及び負極板は、鉛-アンチモン合金で鑄造した格子体に、ペースト状の作用物質を充てんし、これを電気化学的に化成したものである。

極板の厚さが薄いためクラッド式電池に比べ同一容量の電槽に多数の極板を収納でき、極板単位面積当りの電流密度が小さく、内部抵抗の少ない大電流放電用に適する構造である。

更に使用中の作用物質の脱落を押さえるために、正極板の両側からガラス繊維マットを加圧してはさんでいる。

電槽及び排気栓の構造については、クラッド式鉛蓄電池と同一のものである。

ペースト式鉛蓄電池の極板の構造と外観写真を図 3.5-5 に示す。

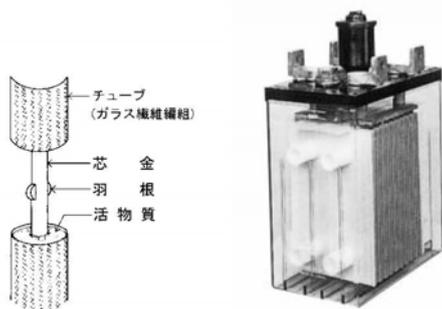


図 3.5-4 クラッド式鉛蓄電池の極板の構造と外観例

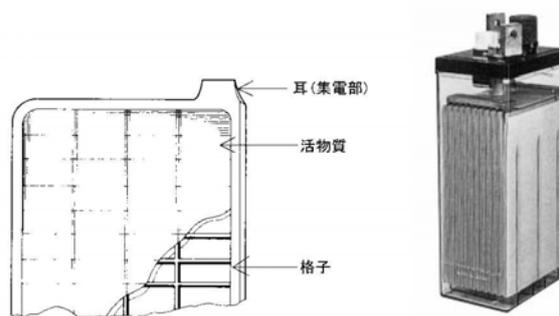


図 3.5-5 ペースト式鉛蓄電池の極板の構造と外観例

(c) 制御弁式据置鉛蓄電池 (MSE) の構造

陰極吸収式シール形 (MSE) 蓄電池は、JIS 規格での用語名称変更に伴い、制御弁式据置鉛蓄電池 (MSE) に名称変更されている。

制御弁式据置鉛蓄電池 (MSE) の極板の格子には、鉛-カルシウム系合金を使用し、自己放電を抑制している。セパレータは微細なガラス繊維の不織布で、正極・負極間の絶縁とともに、電解液が流動しないよう、これを吸着・保持する役割を果たしている。

充電中に正極で発生した酸素ガスは、セパレータを透過して負極に達し、吸収される。ガスの透過が容易となるようにガラス繊維の太さや電解液量が決められている。

電槽と蓋はABS樹脂の成形品で、蓋の排気口部には安全弁とセラミック製のフィルターが設けられ、充電器の故障などで過充電が行われ多量のガスが発生した場合、その一部を外部に放出し、内圧の異常上昇を防止している。

なお、安全弁は外部からの空気の侵入により、負極が酸化 (放電) することも防止している。

制御弁式据置鉛蓄電池 (MSE) には、標準型と長寿命型があり、いままでは、通常、標準型 MSE を採用してきた。しかしながら、近年では、ライフサイクルコストを検討して、正極格子に使用している鉛合金を耐食性の高い合金に変更することで格子腐食を抑制し、長寿命化を実現した長寿命 MSE が採用されつつある。

制御弁式据置鉛蓄電池 (MSE) の構造と外観写真を図 3.5-6 に示す。

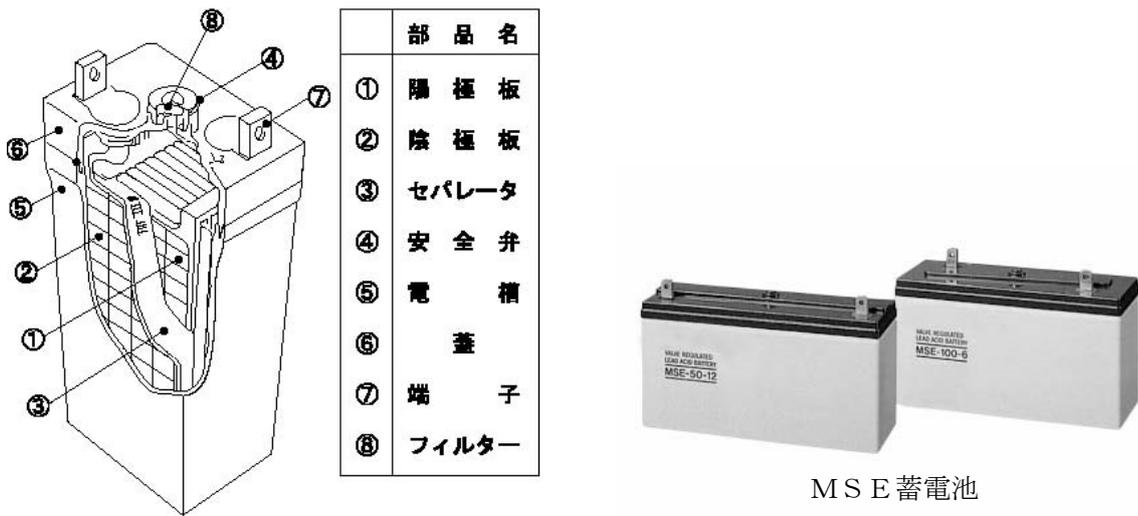


図 3.5-6 制御弁式据置鉛蓄電池（MSE）の構造と外観例



(2) アルカリ蓄電池

アルカリ蓄電池は、電解液にアルカリ性水溶液を使用する蓄電池の総称であり、鉛蓄電池同様、ベント形、シール形等に分かれている。

据置アルカリ蓄電池の分類図は図 3.5-7 のようになる。

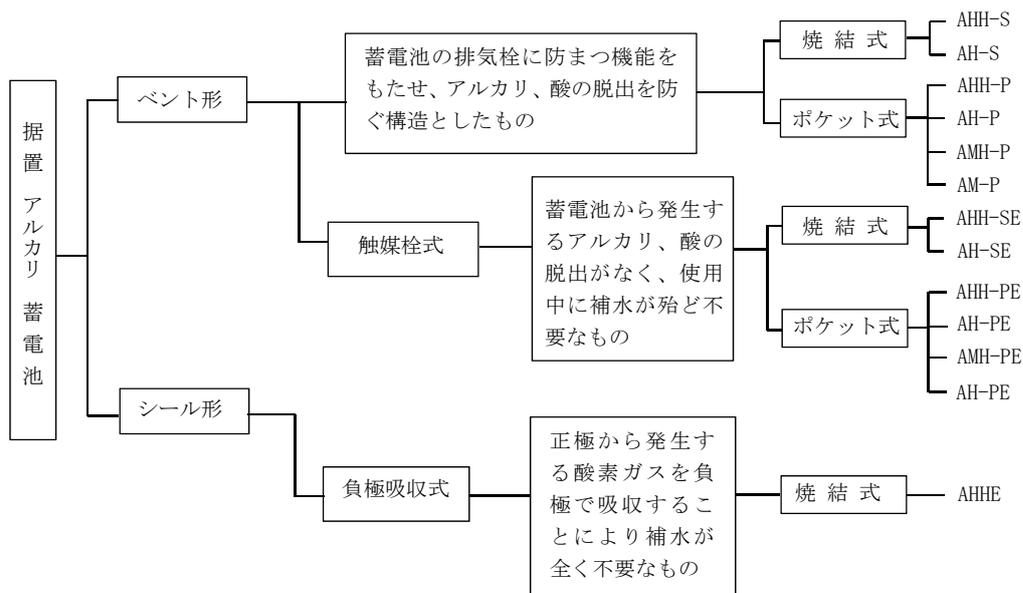


図 3.5-7 アルカリ蓄電池の分類

(a) ポケット式アルカリ蓄電池の構造

負極板及び正極板は、細かい穴を開けた鋼板にニッケルめっきを施し、小さな箱状（ポケット）としたものに作用物質を充てんしたものである。このポケットはいくつか連結され、同じくニッケルめっきされた鋼板製のわく内に圧着固定して、1枚の極板が形成される。作用物質として、正極板は水酸化ニッケルを主成分とし、負極板は同時電解法にて製造されたカドミウムを主成分としている。

(b) 焼結式アルカリ蓄電池の構造

正極板及び負極板は、多孔性の金属板の両面に特殊なニッケル粉を高温で焼結して焼結基板を作り、これに作用物質を含浸させたものである。作用物質として、正極板には水酸化ニッケルを主成分とするものを、負極板には水酸化カドミウムを主成分とするものを用いている。

この焼結式アルカリ蓄電池は、ヨーロッパ（ドイツ）で開発され世界に普及したもので、小容量に多数の極板を収納できるので大電流放電が得られるのが特徴である。

第3章 機器の選定

(3) 各種蓄電池の比較

鉛蓄電池、アルカリ蓄電池について各々代表的な型式について比較すると、表 3.5-2 のようになる。

表 3.5-2 蓄電池の種類と特徴

名称		鉛蓄電池					アルカリ蓄電池			
項目	種類	ペースト式				クラッド式	ポケット式		焼結式	
	型式	長寿命 MSE	MSE 型	PS 型	HS 型	CS 型	AM 型	AMH 型	AH 型	AHH 型
極板構造による分類	極板の構造及び構成	負極・正極共ペースト式極板	負極・正極共ペースト式極板	負極・正極共ペースト式極板	負極・正極共薄形ペースト式極板	正極：クラッド式極板 負極：ペースト式極板	ポケット式極板	薄形ポケット式極板	焼結式極板	極薄形焼結式極板
電圧	約 2.0V/セル	約 2.0V/セル				約 1.2V/セル				
浮動充電電圧	2.23V/セル	2.1~2.23/セル				1.35~1.45/セル				
均等充電電圧	不要	不要	2.3~ 2.4V/セル			1.45~ 1.65/セル				
放電終止電圧	1.8V <sub>セル</sub> /(10時間率)	約 1.8V/セル (10 時間率)				約 1.1V/セル (5 時間率)				
充放電状態の確認	分かりにくい	分かりにくい	比重により容易にわかる			分かりにくい				
過放電・過充電	電池に (サルフェーションを生じて充電して害あり も回復しないことがある)					電池に (サルフェーションなどの現象がなく 害少ない 過充放電に耐える)				
大電流放電	あまり適さない (100Ah の電池で 300A 程度)					適する (100Ah の電池で 500A 程度)				
放電電圧特性	MSE と同等	CS 形 < PS 形 < HS 形 < MSE 形				AM 形 < AMH 形 < AH 形 < AHH 形				
放電率による容量変化	大					小				
温度による容量変化	大					小				
保守	容易	容易	やや面倒			容易				
期待寿命	13年~15年	7~9 年		5~7 年		12~15 年				
価格	MSE < 長寿命 MSE < CS	HS 形 < PS 形 < MSE 形 < CS 形				AM 形 < AMH 形 < AH 形 < AHH 形				
代表的な用途例	放電特性が低率から高率放電まで良く広い用途に適している	放電特性が低率から高率放電まで良く広い用途に適している	一般負荷と共用あるいは 60 分を超える負荷時間が予想される場合に適する	高率放電形 60 分以上の急放電に有利である	長寿命一般負荷あるいは 60 分を超える負荷時間が予想される場合に適する	長寿命形 60 分を超える負荷に適する	長寿命形 60 分程度の負荷の場合に適する	長寿命形 60 分程度の負荷の場合に適する	高率放電形長寿命の瞬時大電流に適する	
	制御電源操作電源交流無停電電源用 エンジン始動用	制御電源操作電源交流無停電電源用 エンジン始動用	通信設備用	非常照明制御電源 エンジン始動用 交流無停電電源用	非常照明消防設備制御電源 交流無停電電源用	非常照明消防設備 制御電源通信設備用		エンジン始動用 交流無停電電源用 制御電源用		

#### (4) シール形に使用しているガス回収装置

蓄電池は、浮動充電及び回復充電などの充電中に電解液中の水分が電気分解により酸素ガスと水素ガスに分解されるので、電解液が減少する。このため、定期的又は必要に応じて精製水を補水し、電解液面位を標準液面位に保つ必要がある。

補水を怠ると極板を空气中に露出することになり、鉛蓄電池にとって致命的損害となる。

この補水を長期的に省略するために、ガス回収装置（リアクタ）が使用される。

##### ・機能

リアクタの原理は、高性能触媒反応によって蓄電池から発生した酸素、水素の混合を水蒸気にし、器壁などで冷却し、水にもどして電解液中に復帰させる。

##### ・取扱い

クラッド式鉛蓄電池及び高率放電用ペースト式鉛蓄電池とも排気栓の代わりにリアクタを取付けることにより、長期間補水の必要がない電池となる。

リアクタは、ガス回収機能のほかに排気栓のもっている防爆、防まつ機能も備えており、排気栓を別に取付ける必要はない。

また、日常の保守事項や充放電特性は、リアクタのある、なしに関係がなくほぼ同一である。

現在では、充電中に発生する酸素ガスを負極板に吸収させるシール方式の採用により、寿命が尽きるまで全く補水する必要がない制御弁式（MSE）が一般的になってきている。本蓄電池はこの他に次のような特徴を持っている。

- ・蓄電池本体がコンパクト化（HS-Eに比較し、容量比で30%減）された。補水や比重測定のための空間が不要であるため、従来の蓄電池に比べ大幅な省スペースが図れる。
- ・完全な密封構造である上、電解液は極板やセパレータに吸着され、流動しないので、倒しても漏液の心配がない。
- ・蓄電池据付後、覆蓋により蓄電池上面を覆う構造としているため、感電や金属工具等による短絡のおそれがなく、安全である。
- ・極板格子に特殊合金を採用しており、自己放電が極めて少ないため、均等充電が不要である。

従来から広く使用されている触媒方式と、「MSEシリーズ」に採用されている制御弁方式の比較を表3.5-3に示す。

表 3.5-3 据置鉛蓄電池のシール方式別の比較

シール方式		触媒栓方式	制御弁方式
シール化の原理		充電末期に電解液中の水分の電解によって発生する酸素ガス及び水素ガスを触媒栓に導き、触媒の作用によって再結合させて水に戻し、セル内に還流する。	充電末期に正極板から発生する酸素ガスを負極板で反応吸収させ、消失させると同時に負極板を化学的に放電状態として水素ガスの発生を抑える。
シール化構造		ベント形（CS、HS）蓄電池の排気孔部に触媒栓を装着したものの。	特殊セパレータの使用と、電解液量の制限などにより、正極板と負極板の間を通気可能な状態とし、負極吸収反応が起き易い構造としたもの。
種類・形式		クラッド式（CS-E） ペースト式（HS-E） 鉛-アンチモン系合金金使用	ペースト式（HSE） （MSE） 鉛-カルシウム系合金金使用
容量範囲		クラッド式 2V：15Ah～8000Ah 6V：15Ah～90Ah ペースト式 2V：30Ah～2500Ah 6V：30Ah～120Ah	ペースト式 HSE 12V：30Ah～50Ah 6V：30Ah～100Ah MSE 12V：50Ah 6V：100Ah 2V：150Ah ～3000Ah
特	高率放電特性	クラッド式：普通 ペースト式：優れる	HSE形：優れる MSE形：特に優れる
	自己放電量	0.5%/日以下	0.1%/日以下（長期保存が可能）
性	期待寿命	クラッド式：10～14年 ペースト式：5～7年	HSE形：5～7年 MSE形：7～9年（長寿命：13～15年）
	浮動充電電圧	クラッド式：2.15V/セル ペースト式：2.18V/セル	2.23V/セル （常時一定電圧で良い）
保	均等充電頻度	3～6ヶ月に一回	不要
	補水頻度	3～5年に一回	不要
守	比重測定	1ヶ月に一回	不要
	液面点検	必要（若干減液あり）	不要
	部品交換	触媒栓 3～5年毎に交換	不要
設備容量比		100	60～70
設備床面積比		100	60～70

### 3.5.4 蓄電池の充電

#### (a) 浮動充電

浮動充電とは、蓄電池と充電器とを負荷に対して並列に接続し、常に充電器が回路の負荷を負担すると同時に、蓄電池に微小充電電流を供給し、蓄電池の自己放電を補い、常に完全充電状態に維持する充電方式であり、浮動充電回路の略図を図 3.5-8 に示す。

通常、蓄電池、充電器は浮動充電にて使用する。

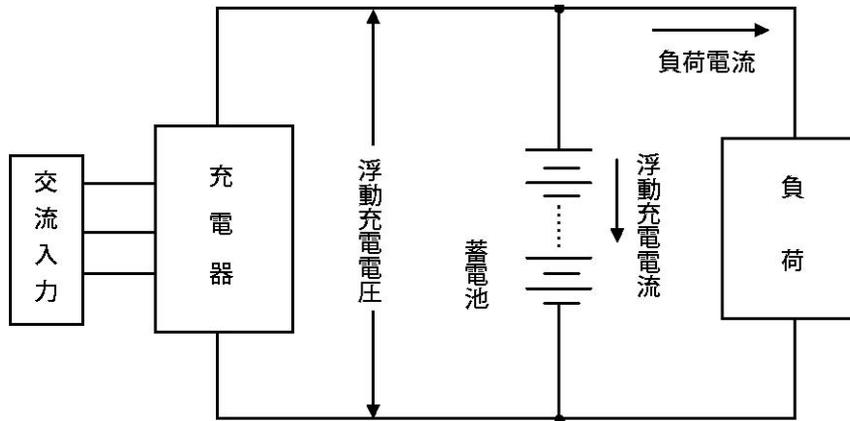


図 3.5-8 浮動充電回路の略図

浮動充電の利点は、次のとおりである。

- ・蓄電池は常に完全充電状態におかれている。
- ・蓄電池及び充電器の容量が小さくてすむ。
- ・蓄電池の寿命が著しく延長される。
- ・経済的に有利である。

浮動充電電圧は、充電器の自動側の電圧設定器により設定する。自動側は、自動定電圧装置により電圧精度が設定値の±2%以内となる。

(b) 均等充電及び回復充電

均等充電とは、長期にわたる浮動充電により、蓄電池の特性のバラツキ及び補水などによる電解液比重のバラツキを是正するために行う充電で、通常3~6ヶ月に一度行う。

回復充電は、停電により放電した蓄電池を充電する。

充電は、初期には充電器の垂下特性で自動的に定電流充電を行うが、時間の経過とともに均等設定電圧まで電圧が上昇し、定電圧充電に移る。

均等充電及び回復充電の充電時間は、通常表3.5-4のとおりである。

なお、制御弁式据置鉛蓄電池（MSE）の場合、均等充電は不要であり、また、放電後の回復充電も浮動充電電圧と同じ電圧で十分回復させることができ特に高い電圧を設定する必要はない。

表 3.5-4 充 電 時 間

充 電	鉛蓄電池の場合	アルカリ蓄電池の場合
均等充電	24 時間	約 8 時間
回復充電	定電圧充電に入って 充電電流が 80%以下にな るまでの時間	定電圧充電に入って 充電電流が 80%以下にな るまでの時間

3.5.5 蓄電池の選定

(1) 選 定

前出の各種蓄電池の比較表により、農業農村整備事業において用いる蓄電池は、特別な場合を除き制御弁式据置鉛蓄電池（MSE）を標準とし、ライフサイクルコストを検討して、必要に応じて長寿命MSEを選定することが好ましい。

(2) 蓄電池個数の選定

負荷電圧により個数は変化するが、一般に負荷電圧の定格が100[V]の場合は、次の個数とする。

鉛蓄電池.....54個

アルカリ蓄電池.....86個

なお、機関始動用蓄電池のセル数は、機関メーカーの標準数を採用する。

(3) 蓄電池の放電時間

蓄電池の放電時間は、維持管理形態、地域性、非常用発電装置の有無等により画一的な規定はできないため十分な検討を行なった上で決定する必要があるが制御用としては一般には、30分を原則としてよい。

(4) 負荷条件

蓄電池及び充電器を選定するには、まずその負荷条件を検討しなければならない。負荷条件が変われば、蓄電池及び充電器の定格も変わるので、選定に当たっては十分に注意する必要がある。

a 負荷電圧及びその電圧変動許容範囲

負荷定格電圧及び各負荷をまとめた電圧変動許容範囲を決定する。JECによる電圧変動許容値は、通常85~125%となっているが、これは使用する機器により差があり、蓄電池の設計は、この電圧変動許容範囲が大きいほど有利である。

b 負荷電流

- ・常時負荷電流
- ・停電時負荷電流
- ・瞬時負荷電流（しゃ断器投入電流など）

c 停電時間

各負荷に対する停電時の使用時間（しゃ断器投入時間は5秒程度と考える。）

d 回路電圧降下

蓄電池端子から負荷の端末までのケーブルサイズ及び長さにより電圧降下を決定する。

e 最低周囲温度

蓄電池容量は、25〔℃〕にて決定しているが、使用温度25〔℃〕より低下するにしたがい容量は減少する。したがって、最低周囲温度をあらかじめ推定し、その分だけ容量を補正する必要がある、主に表3.5-5に示す値が採用されている。

表 3.5-5 最低蓄電池温度

蓄電池の設置場所		最低蓄電池温度
室内に設置される場合		5℃
屋外キュービクルに収納される場合		-5℃
寒冷地	室内に設置される場合	-5℃
	屋外キュービクルに収納される場合	-15℃

(5) 法的制限

建築基準法、消防法などの規定により、蓄電池容量及び使用する負荷によっては、蓄電池の構造、設置場所などについて制限されている。（火災予防条例、建築基準法及び消防法）

### 3.5.6 蓄電池の容量算出

蓄電池の容量は、完全充電状態にある蓄電池を規定の放電終止電圧<sup>※1</sup>に達するまで放電させて取り出せる電気量をいい、放電電流と放電開始から放電終止電圧に至るまでの時間との積、つまりアンペア時〔Ah〕で表示される。蓄電池容量は、算出した必要蓄電池容量の直近上位の標準容量値とする。

蓄電池の容量算出は、前記負荷条件を基に次の算出式で行う。この算出式は、S B A S 0601-2014〔据置蓄電池の容量算出法〕に基づくものである。

#### (1) 容量算出式の一般式

制御電源用蓄電池の容量算出の一般式

$$C = \frac{1}{L} \times [K_1 \times I_1 + K_2 \times (I_2 - I_1) + K_3 \times (I_3 - I_2) + \dots + K_n \times (I_n - I_{(n-1)})]$$

ここに、C：25〔℃〕における定格放電率換算容量〔Ah〕

L：保守率 0.8

K：放電時間T、蓄電池の最低温度及び許容できる最低電圧により決められる容量換算時間（時）表 3.5-6 参照

I：放電電流〔A〕

サイフィックス 1, 2, 3, …… n：放電電流の変化の順に応じた番号

容量算出に用いる負荷特性の例を図 3.5-9 に示す。

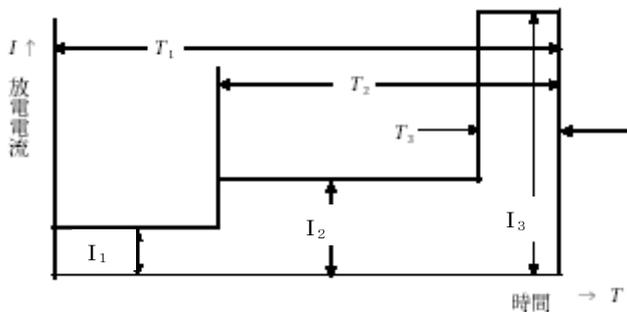


図 3.5-9 負荷特性例

※1 放電終止電圧：蓄電池を一定電圧以下に放電すると極板などをいため蓄電池の寿命を縮めることになり好ましくない。このため、蓄電池の放電を停止しなければならない電圧を定めているが、この電圧を放電終止電圧という。放電終止電圧は、放電電流の大きさ、極板の種類、蓄電池の構造などによって異なる。

### 第3章 機器の選定

この一般式を適用する場合、時間経過とともに放電電流が増減するような負荷特性では、電流が減少する直前までの負荷特性に区切って必要な蓄電池容量を求めなければならない。

この求めた蓄電池容量のうち最大の値が、全体の負荷に必要な定格放電率換算容量である。例えば図 3.5-10 に示す負荷特性の場合には、A、B及びC点までに必要な定格放電率換算容量 CA、CB、CCのうち最も大きい値の容量が、全体の負荷に必要な定格放電率換算容量となる。

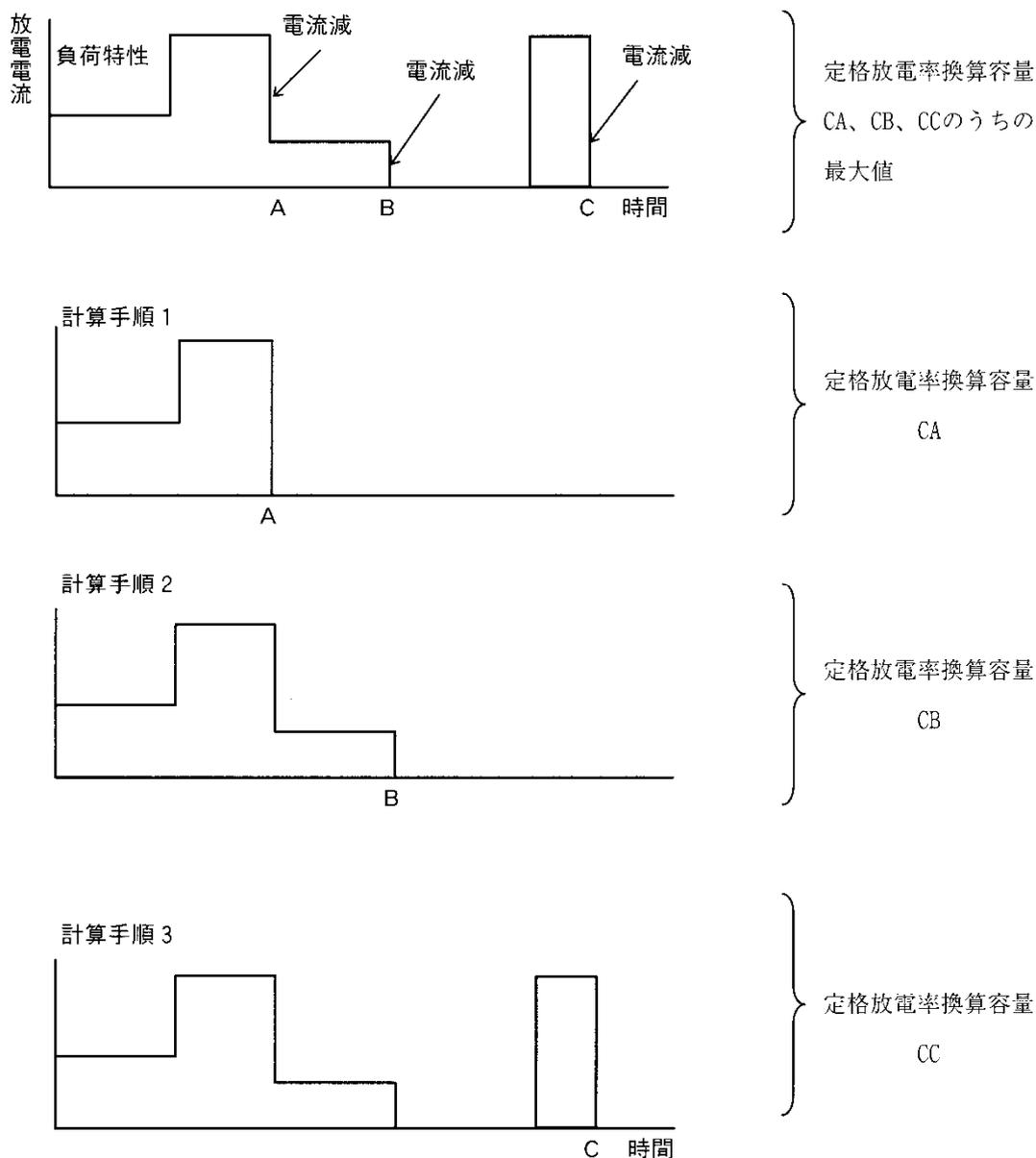


図 3.5-10 負荷特性の例

(2) 算出に必要な条件

定格放電率換算容量を求めるためには、あらかじめ次の四つの条件を決めておく必要がある。

・保守率

蓄電池は使用年数の経過や使用条件の変動などによって容量が変化する。したがって、この容量変化を補償する補正值として  $L=0.8$  とする。

・放電時間と放電電流

放電時間には、予想される負荷の最大時間を用いる。放電時間中、放電電流が増減する場合は、放電末期に大きい負荷が集中した場合でもすべての負荷を満足することができるように、実際に起こると考えられる範囲で放電の終わりの方に大きい放電電流がくるようにする。

・許容最低電圧

種々の負荷側機器から要求される最低電圧のうち最大値を  $V_a$  とすると、これに蓄電池と負荷の間の接続線の電圧降下  $V_c$  を加えたものが、蓄電池の許容最低電圧  $V_b$  である。

容量換算時間を求めるための許容最低電圧  $V_d$  はセル（単電池）1 個についての値（接続板の電圧降下を含む）を示したものであり、 $V_d$  は次式により求めることができる。

$$V_d = \frac{V_b}{n} = \frac{V_a + V_c}{n}$$

ここに、 $V_b$  : 蓄電池の許容最低電圧  $V_a + V_c$  [V]

$V_a$  : 負荷の許容最低電圧 [V]

$V_c$  : 蓄電池との負荷の間の接続線の電圧降下

（蓄電池の列間及び段間の渡り線の電圧降下を含む） [V]

$n$  : 直列に接続されたセル数 [セル]

なお、MSE の場合、許容最低電圧 1.7 [V] を標準とする。

・最低蓄電池温度

蓄電池設置場所の温度条件をあらかじめ推定し、蓄電池温度の最低値を決める必要がある。一般には次の値を採用する。

室内に設置される場合は 5 [°C]、特に寒冷地は-5 [°C] とする。なお、空調などにより終日確実に室内温度が保証される場合はその温度とするが、放電時間が長時間の場合、停電により空調設備の運転が停止して室温が低下することがあるので注意を要する。

(3) 容量の算出例

(a) 放電電流が一定の場合

使用蓄電池：MSE鉛蓄電池

負荷特性：図 3.5-11

保守率：L=0.8

最低蓄電池温度：5 [°C]

許容最低電圧：1.7 [V/セル]

と条件が与えられると、一般式において

$$L=0.8 \quad I=50$$

K=0.68 (蓄電池温度 5 [°C] 用において T=10 分、許容最低電圧 1.7 [V/セル] より求める。表 3.5-6 MSE形鉛蓄電池の容量換算時間 [K] 表参照。)

$$C = \frac{1}{L} \times K \times I = \frac{1}{0.8} \times 0.68 \times 50 = 42.5 \text{ [Ah/10HR]}$$

したがって、42.5 [Ah/10HR] 以上の蓄電池、例えばMSE形 50 [Ah/10HR] の鉛蓄電池が適当である。

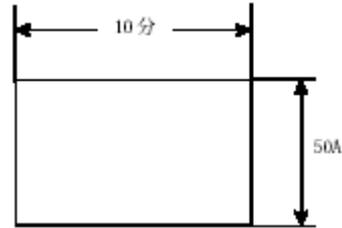


図 3.5-11

(b) 放流電流が時間の経過とともに増加する場合

使用蓄電池：MSE形鉛蓄電池

負荷特性：図 3.5-12

保守率：L=0.8

最低蓄電池温度：5 [°C]

許容最低電圧：1.7 [V/セル]

と条件が与えられると、一般式において

$$L=0.8 \quad I_1=10 \quad I_2=20 \quad I_3=120$$

$$T_1=60 \quad T_2=20 \quad T_3=0.2$$

$$K_1=1.80 \quad K_2=0.91 \quad K_3=0.47$$

$$C = \frac{1}{L} \times [K_1 \times I_1 + K_2 \times (I_2 - I_1) + K_3 \times (I_3 - I_2)]$$

$$= \frac{1}{0.8} [1.80 \times 10 + 0.91 \times (20 - 10) + 0.47 \times (120 - 20)]$$

$$= 92.6 \text{ [Ah/10HR]}$$

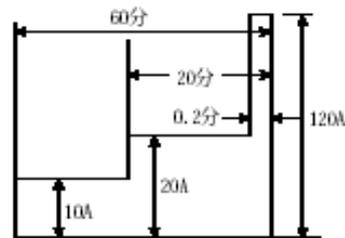


図 3.5-12

したがって、92.6 [Ah/10HR] 以上の蓄電池、例えばMSE形 100 [Ah/10HR] 鉛蓄電池が適当である。

### 3.5.7 充電器の選定

#### (1) 充電器

##### (a) 自動定電圧装置の方式

蓄電池、充電器は、通常浮動充電方式が採用されている。ここで、浮動充電を最も確実にを行うために、充電器の交流入力電圧及び周波数の変動、直流負荷電流の変化があっても、充電器直流出力電圧を一定にすることが必要である。

このため、充電器には自動定電圧装置を備える。

なお、自動定電圧装置付充電器は、電池の放電後の充電を円滑にするため及び充電器を過負荷から守るために、充電器に定格以上の電流が流れた場合、出力電圧を低下させる垂下特性を有している。

##### (b) 充電器の負荷

充電器は、単に蓄電池を充電するばかりでなく、同時に直流負荷に電力を供給する。

このため、負荷の特性により負荷電圧がある範囲で指定されれば、電池充電電圧と負荷電圧の差を補償する装置として、シリコンドロップを考慮しなければならないことがある。

また、負荷がリップル電圧の制限を受ける場合は、それに適する平滑回路（フィルタ）を備えなければならないことがある。

充電器用整流器は通常、3相全波純ブリッジ（6相整流）であり、電源側に対して高調波を発生する。高調波対策として、PWM正弦波整流装置を用いることがあり、この場合高調波対策ガイドラインにおける高調波発生量をゼロとして電力会社に申請することができる。

##### (c) 負荷電圧補償装置（シリコンドロップ）

シリコンドロップは、ドロップの電源側電圧が「DC90 [V] ～均等充電電圧」の範囲内で変化しても、ドロップの負荷側の電圧をDC90 [V] ～110 [V] の範囲内に保つように自動的に調整する。

MSE蓄電池の場合、均等充電はないが充電器の出力が120.4 [V] であり、一般負荷の機器類の許容電圧範囲のDC100 [V] の±10%を超えているので、負荷電圧補償装置を設置する。

対象負荷は、監視、制御、表示、計装電源等とする。ただし、遮断器の投入電源、非常用照明電源等を除く。

##### (d) 自動均等充電検出装置

蓄電池の浮動充電と、均等充電又は回復充電の切換を自動的に行うため、充電器に自動均等充電検出装置を設ける。

この装置は、次の機能を有している。

- ① 浮動充電から均等充電に手動切換すれば、均等充電を完了して自動的に浮動充電に戻る。
- ② 停電により放電した電池を、停電回復とともに自動的に回復充電して、浮動充電に戻す。

##### (e) 蓄電池用液面低下検出装置

蓄電池の電解液面を充電器側で監視するため、液面低下検出装置を設ける。これは検出部として、蓄電池に特殊電極を取付け液面が規定より低下したとき、充電器側に信号を送るもので、検出装置は100 [V] 系では2セル程度をパイロットセルとして取り付けられる。

なお、本装置は蓄電池がシール形の場合は設けない。

(2) 充電器の仕様

(a) 充電器機能

- (イ) 自動定電圧装置付とする。
- (ロ) 自動均等充電を必要とする場合は、自動均等充電検出装置付とする。

(3) 交流入力側定格

充電器の選定には、負荷条件及び蓄電池の決定とは別に、次の5項目の条件が必要となる。なお、( )内の数値の採用が多い。

- (a) 交流入力電圧 (200 [V] )
- (b) 交流入力電圧変動範囲 (±10%)
- (c) 周波数 (50 [Hz] 又は 60 [Hz] )
- (d) 周波数変動範囲 (47.5～52.5 [Hz] 又は 57～63 [Hz] )
- (e) 相数 (3 [φ] )

(4) 直流出力側定格

充電器は、蓄電池の浮動充電及び均等・回復充電を、定電圧で行う自動定電圧装置付とし、浮動側と均等側をもたせる。

(a) 浮動側の定格

- ・浮動充電電圧設定値 1セル当りの浮動充電電圧×セル数
- ・出力電圧調整範囲 上記設定値の±3%
- ・設定電圧精度 ±2%以内
- ・出力電流

出力電流の決定は、一般的には次式により行う。

「鉛蓄電池の場合」

$$\text{出力電流} = \text{常時負荷電流} + \frac{\text{蓄電池公称容量}}{10}$$

「アルカリ蓄電池の場合」

$$\text{出力電流} = \text{常時負荷電流} + \frac{\text{蓄電池公称容量}}{5}$$

例：常時負荷電流 5 [A]

蓄電池公称容量 100 [AH] の場合

$$\text{出力電流} = 5 + \frac{100}{10} = 15 \text{ [A]}$$

したがって、標準定格出力電流の中から 15 [A] を満足する 20 [A] のものを選ぶ。



表 3.5-6 M S E 形鉛蓄電池の容量換算時間 (K) 表

放電時間	温度	許容最低電圧			
		1.9V	1.8V	1.7V	1.6V
0.2 分	5°C	1.40	0.67	0.47	0.36
	-5°C	1.61	0.70	0.49	0.37
0.5 分	5°C	1.43	0.68	0.49	0.38
	-5°C	1.62	0.72	0.51	0.39
1 分	5°C	1.45	0.70	0.51	0.39
	-5°C	1.64	0.74	0.54	0.40
2 分	5°C	1.50	0.72	0.53	0.41
	-5°C	1.67	0.76	0.56	0.43
3 分	5°C	1.54	0.73	0.55	0.42
	-5°C	1.68	0.79	0.58	0.46
5 分	5°C	1.60	0.77	0.58	0.46
	-5°C	1.70	0.84	0.63	0.50
10 分	5°C	1.70	0.90	0.68	0.58
	-5°C	1.90	0.98	0.74	0.62
15 分	5°C	1.85	1.01	0.78	0.69
	-5°C	2.10	1.13	0.86	0.75
20 分	5°C	1.98	1.11	0.91	0.81
	-5°C	2.30	1.29	1.00	0.87
30 分	5°C	2.24	1.34	1.14	1.04
	-5°C	2.60	1.55	1.25	1.10
40 分	5°C	2.51	1.58	1.37	1.26
	-5°C	2.90	1.80	1.50	1.34
50 分	5°C	2.80	1.81	1.60	1.49
	-5°C	3.20	2.03	1.74	1.59
60 分	5°C	3.07	2.05	1.80	1.70
	-5°C	3.50	2.29	1.95	1.80

注) 本指針においては許容最低電圧 1.7 [V] を標準とする。

表 3.5-7 MSE蓄電池仕様

形式	公称電圧 [V]	定格容量 [Ah]
		[10時間率] (10HR)
MSE-50-12	12	50
MSE-100-6	6	100
MSE-150	2	150
MSE-200	2	200
MSE-300	2	300
MSE-500	2	500
MSE-1000	2	1000
MSE-1500	2	1500
MSE-2000	2	2000
MSE-3000	2	3000

表 3.5-8 直流電源装置仕様、盤寸法対応表

No.	蓄電池MSE容量 [Ah]	整流器定格 [A]	負荷電圧調整装置 [A]	盤寸法図 パターン	備考
1	50	20	10	A	
2	50	30	15	A	
3	50	50	20	A	
4	100	20	10	B	
5	100	30	15	B	
6	100	50	20	B	
7	150	20	10	C	
8	150	30	15	C	
9	150	50	20	C	

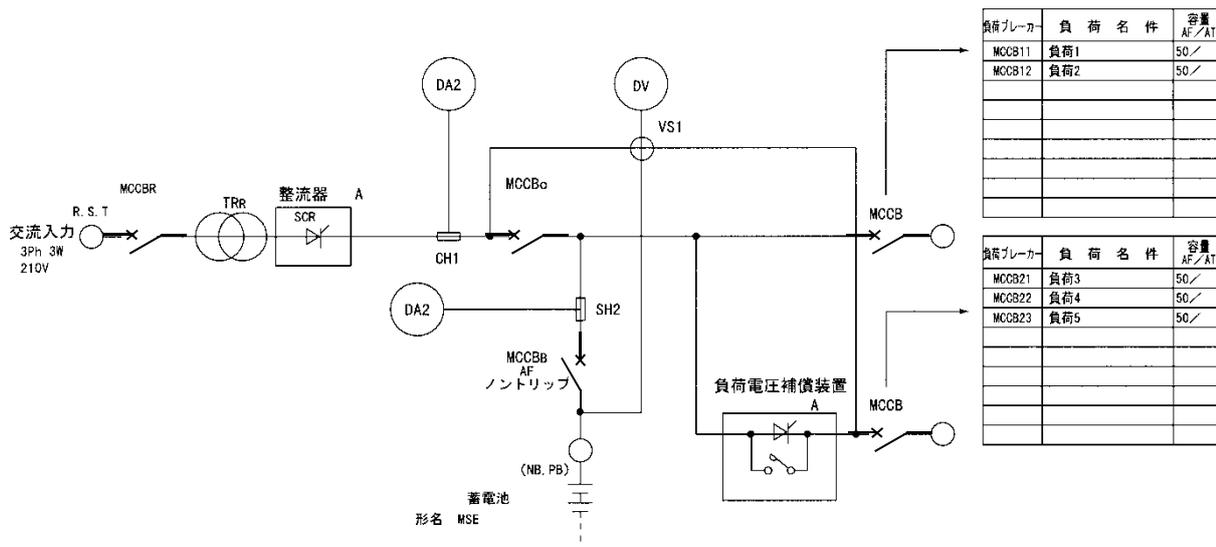


図 3.5-13 直流電源装置単線結線図

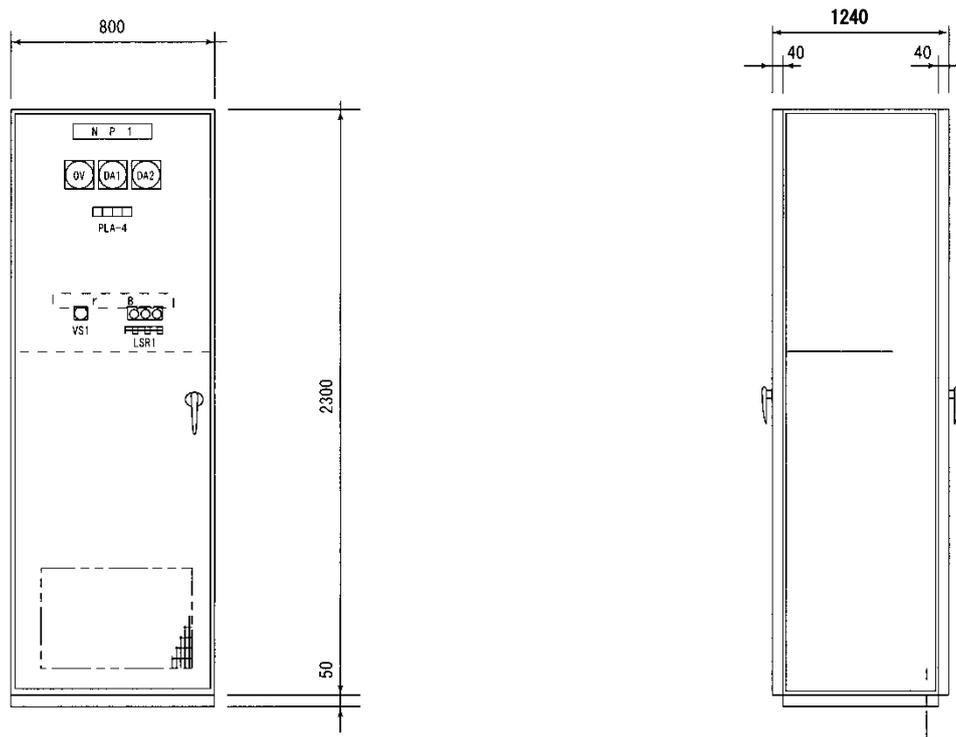


図 3.5-14 直流電源装置寸法図パターンA

第3章 機器の選定

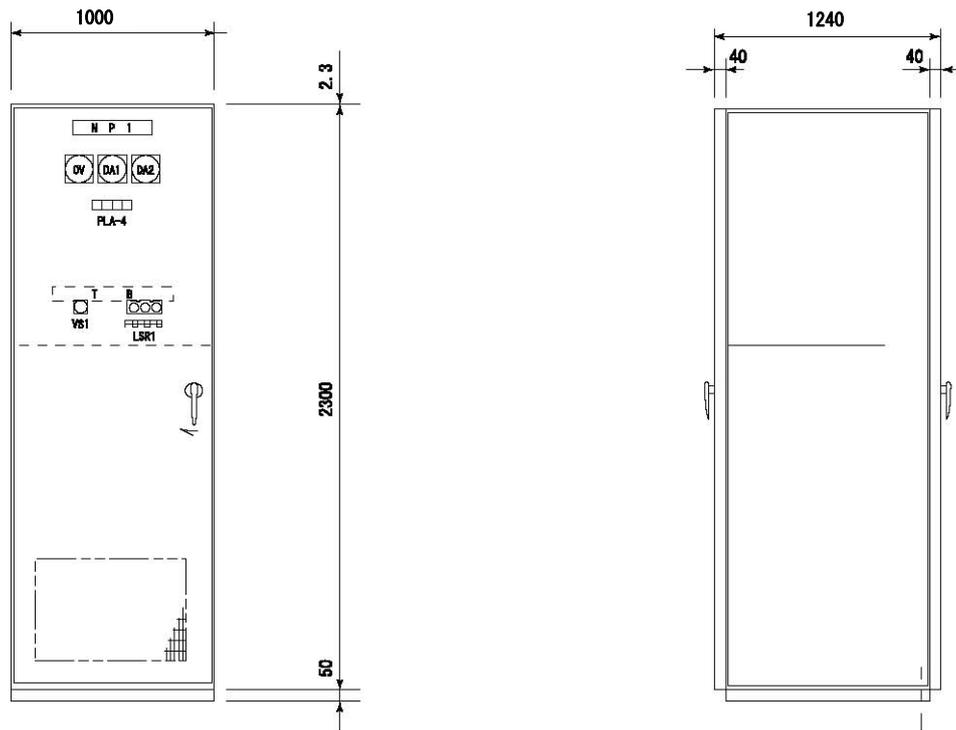


図 3.5-15 直流電源装置寸法図パターンB

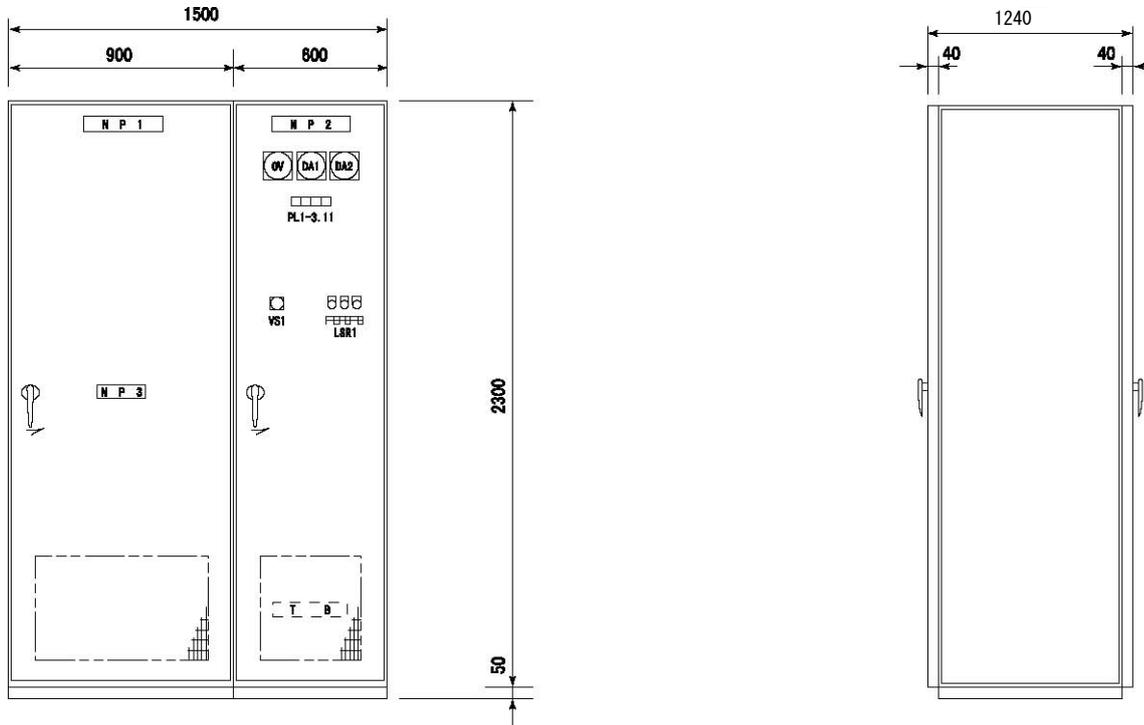


図 3.5-16 直流電源装置寸法図パターンC